

Obrada deformacijom

Projektovanje tehnologije metodama plastičnog deformiranja

Dževad Hadžihafizović

Sarajevo. 2002.

Sadržaj:

Uvod

Osnovna načela procesa obrade deformacijom

Pod obradom metala deformacijom ili obradom bez skidanja čestica podrazumijevaju se one metode obrade pri kojime se metalu daje željeni oblik plastičnom deformacijom. Cilj ovog načina prerade je da se sa najmanje mogućim otpatkom materijala i sa najmanjim brojem radnih operacija dobiju komadi u konačnom obliku.

Proces obrade dubokim izvlačenjem

Pod dubokim izvlačenjem se podrazumijeva proces prerade kod kojeg se iz ravne ploče dobivaju posude različitog oblika sa zatvorenim dnom. Cilj samog procesa omogućava da se sa najmanjim brojem radnih operacija i uz minimalni otpadak dobiju izvučeni elementi u konačnom obliku, tako da se mogu neposredno upotrijebiti ili ugraditi u odgovarajući sklop.

Tehnologijom dubokog izvlačenja se obrađuju materijali od 0,02 mm do 50 mm, sa dimenzijama od nekoliko desetinki milimetara po do nekoliko metara, i sa težinama koje variraju od grama do tone. Duboko izvlačenje komada se može izvoditi na dva načina i to kao:

1. Duboko izvlačenje bez namjerne promjene debljine materijala i
2. Duboko izvlačenje sa redukcijom debljine zida radnog dijela.

Kod dubokog izvlačenja bez promjene debljine materijala dobivaju se komadi koji imaju istu debljinu zida i dna posude, dok se kod dubokog izvlačenja sa redukcijom debljine zida posude razlikuje debljina plašta i debljina dna posude.

Mašine koje se koriste za duboko izvlačenje su uglavnom krivajne i hidraulične prese. Krivajne prese imaju garantovan hod pritiskivača, a hidraulične prese grantovanu silu. Hidraulične prese su sporije i koriste se kada su potrebne velike radne sile. Kod krivajnih presa sila i rad se prenose preko krivajnog mehanizma na pritiskivač, a sa pritiskivača preko alata na radni predmet.

Alati koji se koriste za izradu zavisi od oblika komada ili operacije izvlačenja i moraju se posebno konstruirati i izraditi za svaki svaku operaciju.

Konusni poklopac je kombinacija konične, sferne i cilindrične površine koja se na kraju kružno zavija da bi se dobio vijenac.

Kod projekotovanja tehnologije izvlačenja konusnih ploha postoje dvije metode i to:

- metoda izvlačenja sa stepenastim konusima
- metoda izvlačenja sa paralelnim konusima

Prva metoda se sastoji u tome da se komad postepeno izvlači po fazama stepenastog oblika (stepenicama sa vrši postepeno približavanje konusu). Nakon toga sa vrši kalibriranje odnosno poravnavanje izvučenih stepenica. Glavni nedostatak ove metode je u tome što se ne dobivaju komadi konstantne debljine, a osim toga i nakon kalibriranja sa na komadu uočavaju tragovi alata za stepenasto izvlačenje, tako da površina izvlačenja komada nije glatka.

Izvlačenje po metodi paralelnih konusa se postižu bolji rezultati. U prvim operacijama se izvlače cilindrične posude većeg prečnika konusa. Dalja redukcija se vrši na račun smanjenja cilindrične plohe posude radi povećanja konusne. Po ovoj metodi se konusni oblik omotača zadržava tokom operacija pa gotov komad ima plohu boljeg kvaliteta.

Operacija kružnog zavijanja ima cilj da se na komadu lima dobiju potpuno ili djelimično zatvoreni dijelovi oblika cilindra ili konusa. Sa konstruktivnog stanovišta kružnim zavijanjem znatno se povećava krutost konstrukcije, jer zavijeni dio pojačava konstrukciju.
Kako je elemenat za koji treba da se uradi tehnološki postupak izrade pretežno konstantne debljine, izvodi se duboko izvlačenja bez redukcije debljine materijala metodom paralelnih konusa.

1. PROCES OBRADE DUBOKIM IZVLAČENJEM

U prvom dijelu diplomskog rada izložena je razrada tehnologije obrade dubokim izvlačenjem bez promjene debljine materijala za konusni poklopac definiran konstruktivnim crtežom zadatkom diplomskog rada. Također je izvršen izbor mašine za ovu obradu, a u prilogu su dati sklopni i radionički crteži alata za sve operacije obrade.

1.1. Materijal

Materijal definiran zadatkom je čelik Č.0146. P4. Ovaj čelik spada u grupu niskougljičnih čelika. Lim se isporučuje u meko žarenom stanju, ima dobre plastične osobine i spada u grupu boljih limova za oblikovanje plastičnom deformacijom. Mehaničke osobine i hemijski sastav ovog čelika dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Mehaničke osobine i hemijski sastav čelika Č.0146. P4 [1]

Hemijske osobine					Mehaničke osobine		
Ugljik %C	Silicij %Si	Mangan %Mn	Fosfor max %P	Sumpor max %S	σ_m [MPa]	τ_m [MPa]	δ_{10} %
do 0,1	do 0,2	0,2 ÷ 0,45	0,05	0,05	280 ÷ 420	240 ÷ 340	>25

1.2. Određivanje dimenzija platine

Na osnovu zakona plastične deformacije o konstantnosti zapremine materijala može se postaviti da je zapremina platine V jednaka zapremini gotovog komada V_k. Ova tvrdnja proizlazi iz hipoteze o ne stišljivosti metala u toku plastične deformacije i obrade.

Proračun dimenzija platine izvršiti će se na četiri načina:

- metodom parcijalnih površina
- analitičkom Guldenovom metodom
- grafičkom metodom
- metodom uz pomoć Auto CAD – a

1.2.1. Metoda parcijalnih površina

Kod ove metode tijelo složenog geometrijskog oblika se podijeli na niz parcijalnih rotacionih površina poznatih geometrijskih oblika. Ukupna površina predstavlja sumu tih parcijalnih površina: $A_1, A_2, A_3, \dots, A_i, \dots, A_n$.

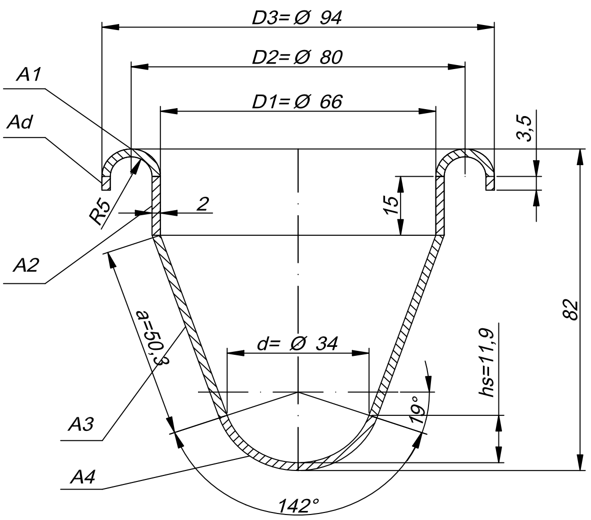
Tako da je ukupna površina komada :

$$A_k = \sum_{i=1}^{n} A_i = A_1 + A_2 + A_3 + \ldots + A_i + \ldots + A_n.$$

Prečnik platine po metodi parcijalnih površina se računa po obrascu:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \sum_{i=1}^{n} A_i}$$

Analizirajući konstruktivni crtež konusnog poklopca možemo uočiti pet poznatih geometrijskih oblika koja su prikazana na slici 1.



A_1 – Površina kružnog luka
A_2 – Površina cilindričnog dijela
A_3 – Površina konusnog dijela
A_4 – Površina sfernog dijela
A_d – Površina dodatka za rezanje

Slika 1. Prikaz elementarnih površina i osnovnih dimenzija.

Izračunavanje parcijalnih površina po neutralnoj deformacionoj liniji (srednja linija lima):

A_1 – Površina kružnog luka
$A_1 = \pi \cdot (2 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot r_1 + 8 \cdot r_1^2) /2 = \pi \cdot (2 \cdot \pi \cdot 81 \cdot 6 + 8 \cdot 6^2) /2 = 5184{,}768 \text{ mm}^2$

A_2 – Površina cilindričnog dijela
$A_2 = \pi \cdot D_1 \cdot h = \pi \cdot 68 \cdot 15 = 3202{,}8 \text{ mm}^2$

A_3 – Površina konusnog dijela
$A_3 = a \cdot \pi \cdot (D_1 + d)/2$

$a = \dfrac{H - h - R}{\cos\varphi} - \dfrac{d \cdot \sin\varphi}{2}$ Izvodnica (unutrašnja strana) konusa

$\text{tg } \varphi = \dfrac{D_1/2 - R}{H - h - R} = \dfrac{66/2 - 18}{82 - 22 - 18} = 15/42 \quad \Rightarrow \quad \varphi = 19{,}653°$

$d = 2 \cdot x$
$x = R \cdot \cos\varphi = 18 \cdot \cos 19{,}653° = 16{,}95 \text{ mm}$
$d = 2 \cdot 16{,}95 = 33{,}9 \text{ mm}$

$$a = \frac{82-22-18}{\cos 19{,}653} - \frac{33{,}9 \cdot \sin 19{,}653}{2} = 50{,}3 \text{ mm}$$

$A_3 = 50{,}3 \cdot \pi \cdot (68 + 36)/2 = 8213 \text{ mm}^2$

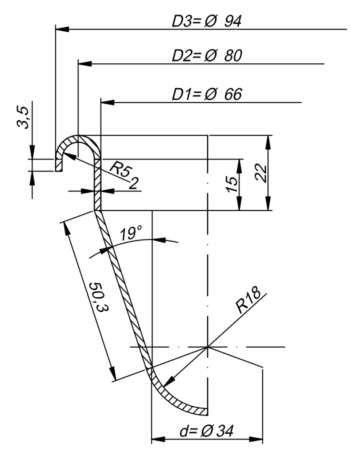
A_4 – Površina sfernog dijela
$A_4 = 2 \cdot R_s \cdot (h_s + s/2) \cdot \pi$
$h_s = R \cdot (1 - \sin \varphi) = 18 \cdot (1 - \sin 19{,}653°) = 11{,}9462 \text{ mm}$
$A_4 = 2 \cdot 19 \cdot 13 \cdot \pi = 1551{,}16 \text{ mm}^2$

Uslijed anizotropije materijala, gornji omotač nakon izvlačenja neće biti ravan pa se mora vršiti poravnavanje odsijecanjem. Zbog toga se kod proračuna prečnika platine uzima u obzir i dodatak za obrezivanje Δh.
$h/D = 82/66 = 1{,}24$
Iz tabele za dodatke izvučenih komada cilindričnog oblika sa vijencem očitavamo vrijednost dodatka za obrezivanje $\Delta h = 3{,}5$ mm.

A_d – Površina dodatka za rezanje
$A_d = D_3 \cdot \pi \cdot \Delta h = 92 \cdot 3{,}14 \cdot 3{,}5 = 1011{,}08 \text{ mm}^2$

Proračun prečnika platine po metodi parcijalnih površina dat je u tabeli 2.

Tabela 2. Metoda parcijalnih površina



i	Parcijalna površina A_i	A_i [mm^2]
1	$A_1 = \pi \cdot (2 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot r_1 + 8 \cdot r_1^2) /2 = \pi \cdot (2 \cdot \pi \cdot 80 \cdot 6 + 8 \cdot 6^2) /2 = 5184{,}768 \text{mm}^2$	5184,768
2	$A_2 = \pi \cdot D_1 \cdot h = \pi \cdot 68 \cdot 15 = 3202{,}8 \text{mm}^2$	3202,8
3	$A_3 = a \cdot \pi \cdot (D_1 + d)/2 = 8213 \text{mm}^2$	8213
4	$A_4 = 2 \cdot R_s \cdot (h_s + s/2) \cdot \pi = 1551{,}16 \text{ mm}^2$	1551,16
5	$A_d = D_3 \cdot \pi \cdot \Delta h = 94 \cdot 3{,}14 \cdot 3{,}5 = 1011{,}08$	1011,08
Σ	$\Sigma A_i = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_d$	19072,808

Prečnik platine po metodi parcijalnih površina je:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \sum_{i=1}^{n} A_i} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot 19072{,}808} = 155{,}8735 \,[\text{mm}]$$

Usvaja se D =156[mm]

1.2.2. Analitička Guldenova metoda

Kod izračunavanja površine tijela pomoću ove metode tijelo se podijeli na elementarne dužine (lukove) i odredi se rastojanje težišta ovih lukova od ose rotacije. Površina rotacionog tijela se pomoću Guldenovog pravila određuje po obrascu:

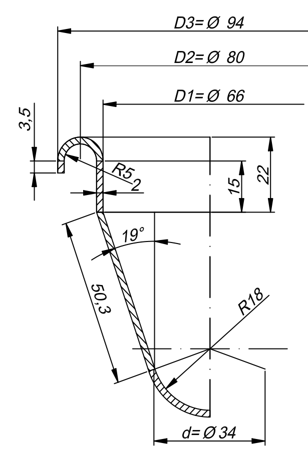
$$A = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^{n} l_i \cdot r_i$$

a prečnik platine po obrascu:

$$D = \sqrt{8 \cdot \sum_{i=1}^{n} l_i \cdot r_i}$$

Proračun prečnika platine pomoću analitičke Guldenove metode dat je u tabeli 3.

Tabela 3. Analitička Guldenova metoda



i	Dužine lukova l_i [mm]		Rastojanje težišta os ose rotacije r_i [mm]		$l_i \cdot r_i$ [mm^2]
1	$l_1 = r^2 \cdot \pi$	21,98	$D_2/2 = 80/2$	40	879,2
2	$l_2 = h_1$	15	$D_1/2 = 66/2$	34	510
3	$l_3 = a$	50,3	$d_{sr/2=}50$	26,46	1331
4	$l_4 = (r \cdot \pi \cdot \alpha)/180$	22,3	$\eta \cdot \sin \alpha/2$	3,053	68,082
5	$l_5 = \Delta h$	3,5	$D_3/2 = 94/2$	48	168
	$\Sigma\, l_i \cdot r_i = l_1 \cdot r_1 + l_2 \cdot r_2 + l_3 \cdot r_3 + l_4 \cdot r_4 + l_5 \cdot r_5$				2956,28

Prečnik platine po analitičkoj Guldenovoj metodi je:

$$D = \sqrt{8 \cdot \sum_{i=1}^{n} l_i \cdot r_i} = \sqrt{8 \cdot 2956{,}28} = 153{,}78\,[\mathrm{mm}]$$

Usvaja se D = 154 [mm]

1.2.3. Grafička metoda

Prečnik platine grafičkom metodom određuje se tako što se polovina konture predmeta nacrta u određenoj razmjeri. U planu dužina se također u određenoj razmjeri ucrtaju dužine pojedinih elemenata (l_1, l_2, l_3, …, l_n). Pomoću plana dužina i verižnog poligona dobiva se rastojanje težišta konturne linije polovine predmeta od ose rotacije (r_s). Koristeći Guldenovo pravilo površinu predmeta možemo izračunati po obrascu:

$$A = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^{n} l_i \cdot r_i = 2 \cdot \pi \cdot r_s \cdot \sum_{i=1}^{n} l_i \qquad \text{iskorišteno je da je} \qquad r_s = \sum_{i=1}^{n} r_i$$

Prečnik platine dobiti će se ako iz središta duži $\overline{AC}$ opiše krug sa poluprečnikom $\overline{AC}/2$ gdje je:

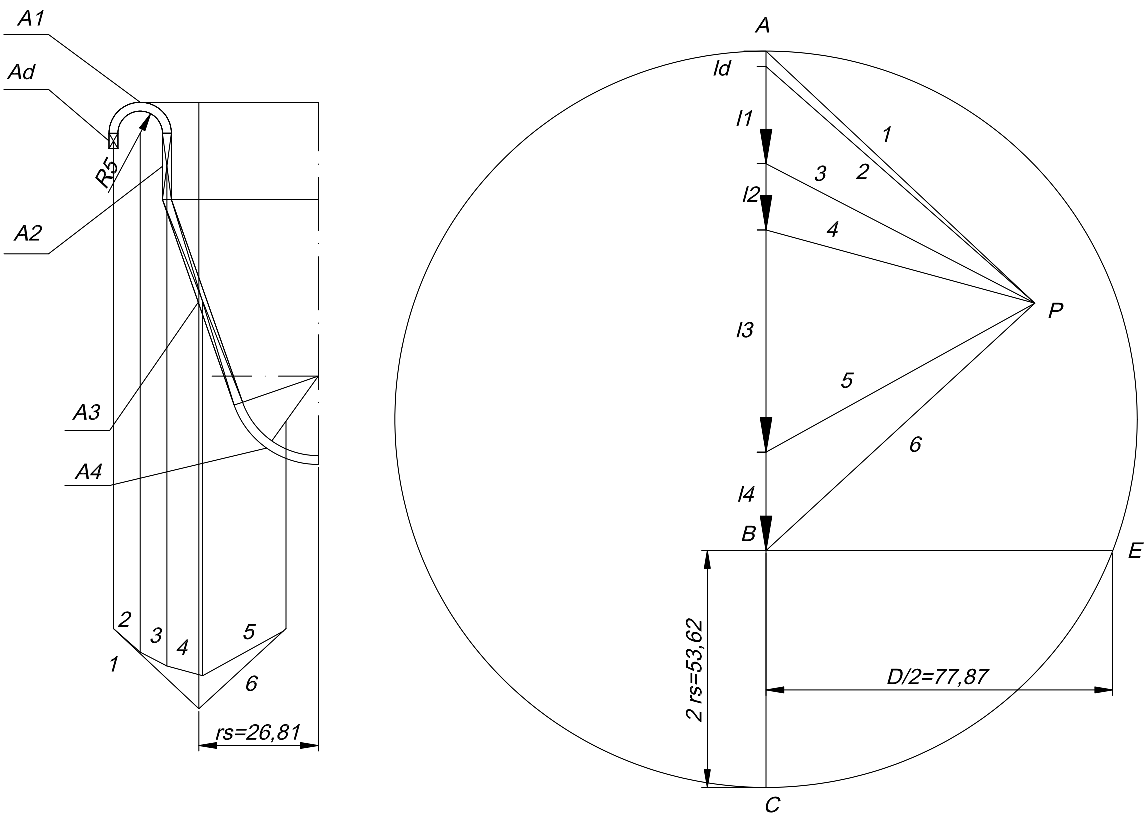
$$\overline{AC} = \sum_{i=1}^{n} l_i + 2 \cdot r_s \qquad \text{tada je prečnik platine jednak} \qquad D = 2 \cdot \overline{BE}$$

Dokaz ove tvrdnje slijedi iz sličnosti trouglova ABE i BCE slika 3.

$$\overline{AB} : \overline{BE} = \overline{BE} : \overline{BC} \quad \text{ili} \quad \overline{BE}^2 = \overline{AB} \cdot \overline{BC} \qquad \text{odnosno}$$

$$2 \cdot \overline{BE} = 2 \cdot \sqrt{\overline{BC} \cdot \overline{AB}} = \sqrt{8 \cdot r_s \cdot \sum_{i=1}^{n} l_i} = D$$

Određivanje prečnika platine grafičkom metodom prikazano je na slici 2.



Slika 2

Na osnovu grafičkih rezultata prečnik platine po ovoj metodi je:

D = 77,87 · 2 = 155,74 mm
Usvaja se D = 156 mm

1.2.4. Proračun prečnika platine uz pomoć AutoCAD – a

Prilikom izračunavanja prečnika platine po ovoj metodi tijelo složenog geometrijskog oblika nacrta se u AutoCAD – u, pomoću 3D solid modela. Ovako nacrtanom tijelu AutoCAD može automatski odrediti zapreminu što je prikazano na slici 3. Potom pomoću te poznate zapremine izračuna se prečnik platine po obrascu:

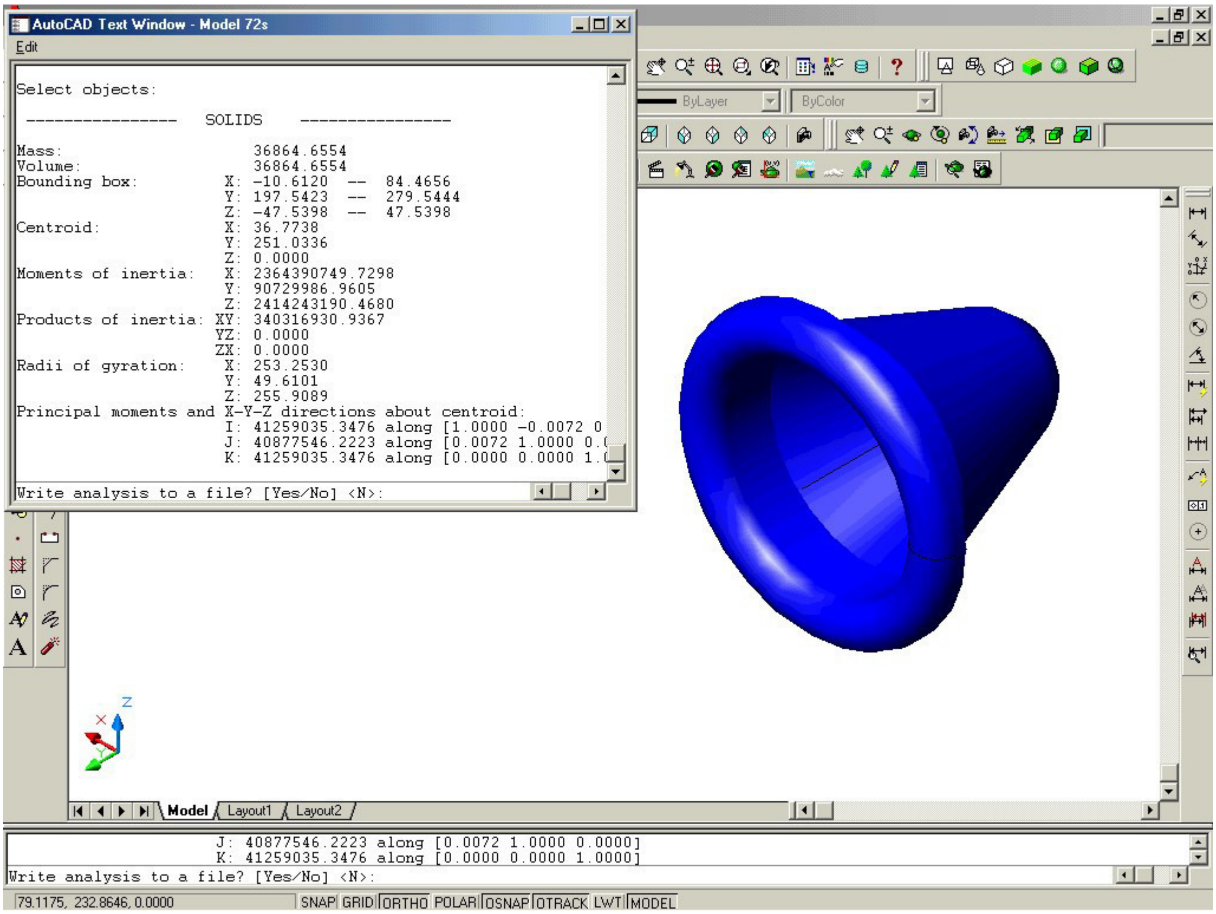
$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot s}}$$

Kao što se na slici 4. vidi zapremina posude je: $V = 36864{,}6554\ [mm^3]$

Prečnik platine uz pomoć AutoCAD – a je:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 36864{,}6554}{\pi \cdot 2}} = 153{,}23\,[\text{mm}]$$

Usvaja se $D = 154$ [mm]



Slika 3.

Usvajamo prečnik platine $D = \phi 156$ mm

Dimenzija platine je: $D \times s = \phi 156 \times 2$ mm

1.3. Projektovanje tehnologije izrade

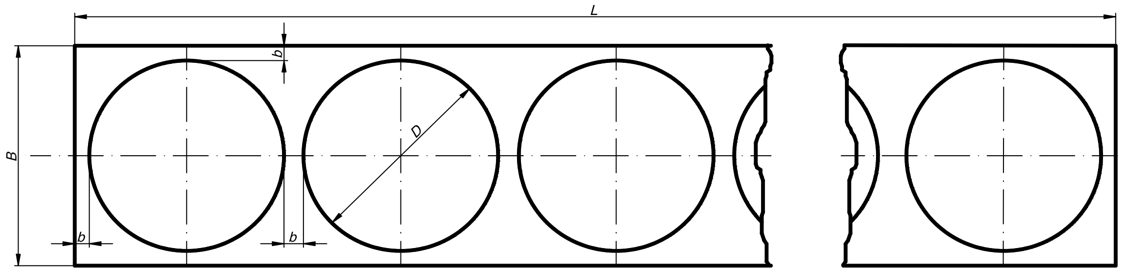
Projektovanje tehnologije izrade predstavlja određivanje redoslijeda operacija izrade komada počevši od prve operacije prosijecanja platine iz limene trake, pa do posljednje operacije kojom se dobiva gotov komad. Kao polazna osnova služi konstruktivni crtež dat projektnim zadatkom. Također, redoslijed i broj operacija zavisi i od geometrijske složenosti komada, osobina materijala itd. Za svaku operaciju projektuje se poseban alat.

Na osnovu konstruktivni crteža datog u sklopu zadatka diplomskog rada za izradu konusnog poklopca potrebne su sljedeće vrste obrade:

- prosijecanje platine
- duboko izvlačenje
- obrezivanje posude
- pravljenje vijenca konusnog poklopca

Da bi se odredio konačan broj operacija izrade potrebno je prvo odrediti broj faza dubokog izvlačenja, isto tako potrebno je odrediti dimenzije trake za prosijecanje platine.

1.3.1. Širina trake za prosijecanje platine



Slika 4.

Da bi se postigli kvalitetni prosječeni proizvodi širina trake (B) treba da bude veća od širine radnog komada (D) koji se prosijeca za vrijednost širine ruba (b). Također, komadi koji se prosijecaju trebaju da budu odmaknuti jedan u odnosu na drugi za vrijednost širine mosta (b) kao što se vidi na slici 4.

Širina ruba i mosta zavisi od debljine lima (s) i širine trake (B) i usvaja se iz tabele.
$b = 4$ [mm]

Širina trake računa se po izrazu:

$B = D + 2 \cdot b = 156 + 2 \cdot 4 = 164$ [mm]

Dužina trake lima (L) usvaja se

$L = 1600$ [mm]

Posmak trake računa se po obrascu:

$x = D + b = 156 + 4 = 160$ [mm]

Broj komada koji se dobiva iz jedne trake je:

$z = L / x = 1600/160=10$ usvaja se $z = 10$

Veličina otpatka zavisi od rasporeda komada u traci kao i od širine ruba i mosta. Treba težiti da otpadak bude što manji radi uštede u materijalu.
Ekonomičnost rasporeda materijala u traci određuje se stepenom iskorištenja materijala (η) po izrazu:

$$\eta = z \cdot \frac{A}{A_t} \cdot 100\%$$

$A_t = L \cdot B = 1600 \cdot 164 = 262400 \ \ mm^2$ – površina trake

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{156^2 \cdot \pi}{4} = 19103{,}76$$ – površina radnog komada (platine)

Stepen iskorištenja materijala je:

$$\eta = z \cdot \frac{A}{A_t} \cdot 100\% = 10 \cdot \frac{19103{,}76}{262400} \cdot 100\% = 72{,}8\%$$

1.3.2. Projektovanje tehnologije dubokog izvlačenja

Na osnovu konstruktivnog crteža gotovog komada i prečnika platine nakon prosijecanja vrši se određivanje broja faza dubokog izvlačenja.

1.3.2.1. Relativna debljina materijala

Relativna debljina materijala je bitan faktor koji utiče na veličinu odnosa izvlačenja i ukoliko je veća, povoljniji su odnosi izvlačenja. Relativna debljina materijala se računa po obrascu:

$$s_r = \frac{s}{D} \cdot 100\% = \frac{2}{156} \cdot 100\% = 1{,}282051282\%$$

s = 2 [mm] – debljina lima
D = 156 [mm] – prečnik platine

1.3.2.2. Odnosi izvlačenja i broj faza izvlačenja

Odnos izvlačenja ($m_i = d_i / d_{i-1}$) predstavlja odnos prečnika posude dviju susjednih faza izvlačenja. Određuje se iz tabela na osnovu relativne debljine materijala (s_r) :

$m_1 = 0,5$ $m_2 = 0,75$ $m_3 = 0,78$ $m_4 = 0,80$ $m_5 = 0,82$

Srednji odnos izvlačenja za drugu i ostale faze izvlačenja služi za računanje broja faza izvlačenja i računa se po izrazu:

$$m_{sr} = \frac{m_2 + m_3 + ... + m_n}{n-1} = \frac{0,75 + 0,78 + 0,8 + 0,82}{5-1} = 0,7875$$

Broj faza dubokog izvlačenja računa se po obrascu:

$$n = 1 + \frac{\log d_n - \log m_1 \cdot D}{\log m_{sr}} = 1 + \frac{\log 29,9983 - \log 0,5 \cdot 156}{\log 0,7875} = 4$$

$d_n = m_{sr}^{n-1} \cdot m_1 \cdot D = 0,7875^4 \cdot 0,5 \cdot 156 = 29,9983$ mm

$d_n = 33,226$ [mm] – prečnik gotovog komada
$D = 156$ [mm] – prečnik platine

Usvaja se broj faza dubokog izvlačenja $n = 4$.

1.3.2.3. Prečnici i visine komada po fazama izvlačenja

1.3.2.4 Prečnici komada po fazama izvlačenja

Na osnovu usvojenih odnosa izvlačenja prečnici komada po fazama izvlačenja se računaju po izrazu:

$$d_i = m_i \cdot d_{i-1}$$

I operacija – izvlačenje cilindrične posude iz platine:

$d_1 = m_1 \cdot D = 0,5 \cdot 156 = 78$ mm
Usvaja se $d_1 = 78$ mm

II operacija – redukcija prečnika:

$d_2 = m_2 \cdot d_2 = 0,75 \cdot 78 = 58,5$ mm
Usvaja se $d_2 = 58$ mm

U ovoj operaciji se vrši redukcija prečnika cilindrične posude sa ϕ78 na ϕ66 uz istovremeno izvlačenje konusne površine sa prečnikom dna ϕ58 mm.

III operacija – izvlačenja konusne površine se vrši povećanjem konusne površine na račun smanjenja visine cilindrične površine dobivene iz prethodne faze izvlačenja.

$d_3 = m_3 \cdot d_2 = 0{,}78 \cdot 58 = 45{,}24$ mm
Usvaja se $d_3 = 45$ mm

IV operacija – izvlačenje sferičnog dna poklopca radijusa R = 18 mm i preostale konusne površine.

$d_4 = \frac{d_4}{d_3} = \frac{36}{45} = 0{,}80$

1.3.2.5 Visine komada po fazama izvlačenja

Visine komada po fazama izvlačenja se izračunavaju na osnovu postavke da površina platine A mora biti jednaka površini komada nakon i-te operacije izvlačenja A_i.

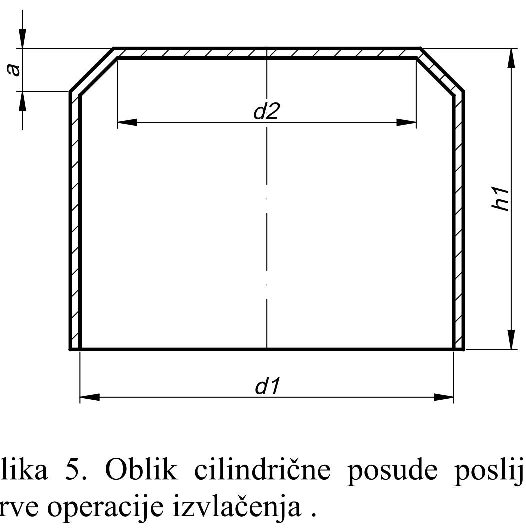
Visina komada po fazama izvlačenja se računa po formuli za prijelaz sa konusom:

$$h_i = 0{,}25 \cdot \left(\frac{D^2}{d_i} - d_i \right) + 0{,}57 \cdot \frac{a_i}{d_i} \cdot \left(d_i + 0{,}86 \cdot r_i \right)$$

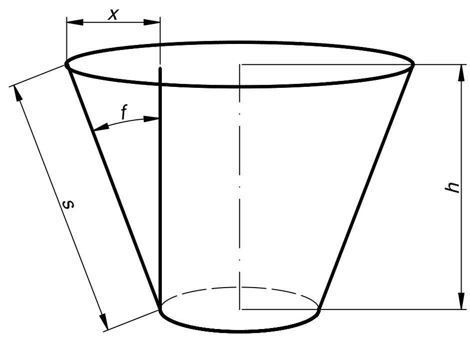
Visine komada po fazama izvlačenja su:

I operacija slika 5– izvlačenje cilindrične posude iz platine:

$$h_1 = 0{,}25 \cdot \left(\frac{156^2}{78} - 78 \right) + 0{,}43 \cdot \frac{10}{78} \cdot \left(78 \ + 0{,}32 \cdot 10 \ \right) = 62{,}9764mm$$



Slika 5. Oblik cilindrične posude poslije prve operacije izvlačenja .
$d_1 = 78$ mm $d_2 = 58$ mm
$a = (d_1 - d_2)/2 = 10$ mm



Slika 6. Osnovne mjere konusa

II operacija –operacija redukcije prečnika cilindra na traženu mjeru i izvlačenja konusne površine:

Površina dna posude:

$A_d = d^2_4 \cdot \pi/4 = 45{,}24^2 \cdot 3{,}14/4 = 1606{,}6216\ mm^2$

Površina konusa:
$A_k = s \cdot \pi \cdot (d_3 + d_4)/2$
$d_1 = 66\ mm$

$d_4 = 45{,}24\ mm$

$x = (d_i - d_{i+1})/2 = (66\text{-}45{,}24)/2 = 10{,}38\ mm$

$s = 10{,}38/\sin 19{,}653° = 30{,}8632\ mm$

$h_k = 10{,}38/\text{tg}\ 19{,}653° = 29{,}0653\ mm$

$A_k = 30{,}8632 \cdot \pi \cdot (66 + 45{,}24)/2 = 5390{,}16\ mm^2$

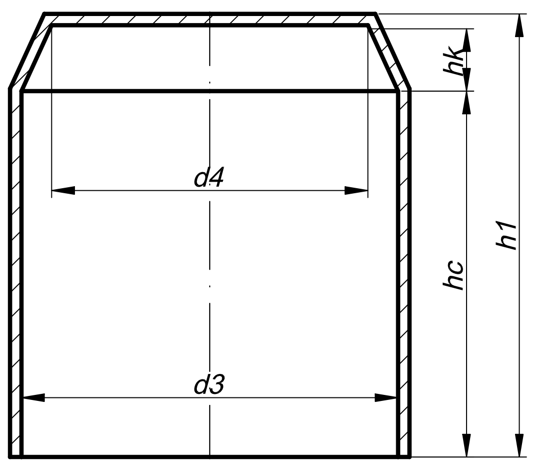
Površina cilindra:
$A_c = A – (A_d + A_k)$

$A = D \cdot \pi/4 = 156 \cdot 3{,}14/2 = 19103{,}76\ mm^2$ - površina platine

$A_c = 19013{,}76 – (1606{,}6126 + 5390{,}16) = 12016{,}98828\ mm^2$

$h_c = A_c/ (d_1 \cdot\pi) = 12016{,}98828 /(66 \cdot 3{,}14) = 57{,}98585\ mm$

$h_2 = 2 + h_k + h_c = 2 + 29{,}0653 + 57{,}9858 = 89{,}0511\ mm$



Slika 8.Oblik cilindrične posude poslije druge operacije izvlačenja.
$d_3 = 66\ mm$ $d_4 = 45{,}24\ mm$ $h_k = 29\ mm$ $h_2 = 89\ mm$
U drugoj operaciji izvršena je redukcija prečnika sa ϕ78 na ϕ66.

III operacija – operacija izduženje konusa:

Površina dna posude:

$A_d = d^2_5 \cdot \pi/4 = 36^2 \cdot 3{,}14/4 = 1017{,}36\ mm^2$

Površina konusa:
$A_k = s \cdot \pi \cdot (d_1 + d_4)/2$
$d_1 = 66$ mm

$d_5 = 36$ mm

$x = (d_i - d_{i+1})/2 = (66\text{-}36)/2 = 15$ mm

$s = 15/\sin 19{,}653° = 44{,}6$ mm

$h_k = 15/\text{tg } 19{,}653° = 42$ mm

$A_k = 44{,}6 \cdot \pi \cdot (66 + 36)/2 = 7142{,}244\ mm^2$

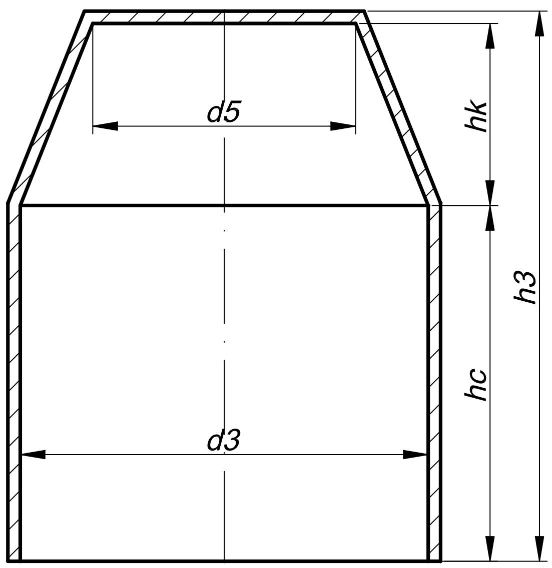
Površina cilindra:
$A_c = A – (A_d + A_k)$

$A = D \cdot \pi/4 = 156 \cdot 3{,}14/2 = 19103{,}76\ mm^2$ - površina platine

$A_c = 19013{,}76 – (1017{,}36 + 7142{,}244) = 10854{,}156\ mm^2$

$h_c = A_c/ (d_1 \cdot\pi) = 10854{,}156 /(66 \cdot 3{,}14) = 52{,}375$ mm

$h_3 = 2 + h_k + h_c = 2 + 42+ 52{,}375 = 96{,}375$ mm



Slika 9.Oblik cilindrične posude poslije treće operacije izvlačenja.
$d_4 = 66$ mm $d_5 = 36$ mm $h_k = 42$ mm $h_3 = 96{,}375$ mm
U trećoj operaciji izvršeno je produženje konusa na račun skraćenja visine cilindra.

IV operacija – operacija izvlačenja sfernog dijela i postizanja traženih dimenzija.

A_4 – Površina sfernog dijela

$A_4 = 2 \cdot R \cdot h_s \cdot \pi$

$h_s = R \cdot (1 - \sin\varphi) = 18 \cdot (1 - \sin 19{,}653°) = 11{,}9462$ mm

$A_4 = 2 \cdot 18 \cdot 11{,}9462 \cdot \pi = 1350{,}4$ mm^2

Površina konusa:

A_3 – Površina konusnog dijela

$A_3 = s \cdot \pi \cdot (D_1 + d)/2$

$s = \frac{H - h - R}{\cos\varphi} - \frac{d \cdot \sin\varphi}{2}$ - Izvodnica konusa

$\text{tg}\,\varphi = \frac{D_1/2 - R}{H - h - R} = \frac{66/2 - 18}{82 - 22 - 18} = 15/42 \quad \Rightarrow \quad \varphi = 19{,}653°$

$d = 2 \cdot x$

$x = R \cdot \cos\varphi = 18 \cdot \cos 19{,}653° = 16{,}95$ mm

$d = 2 \cdot 16{,}95 = 33{,}9$ mm

$a = \frac{82 - 22 - 18}{\cos 19{,}653} - \frac{33{,}9 \cdot \sin 19{,}653}{2} = 50{,}3$ mm

$A_3 = 50{,}3 \cdot \pi \cdot (66 + 33{,}9)/2 = 7889{,}36$ mm^2

Suma svih površina koje su definisane pri izvlačenju:

$\Sigma A_i = A_3 + A_4 + = 9764{,}16$ mm^2

$A_p = D^2 \cdot \pi/4 = 156^2 \cdot 3{,}14/4 = 19103{,}76$ mm^2 - površina platine

$A_c = A_p - \Sigma A_i = 19103{,}76 - 18485{,}176 = 9339{,}6$ mm^2 –površina cilindra sa dodatkom

A_2 – Površina cilindričnog dijela

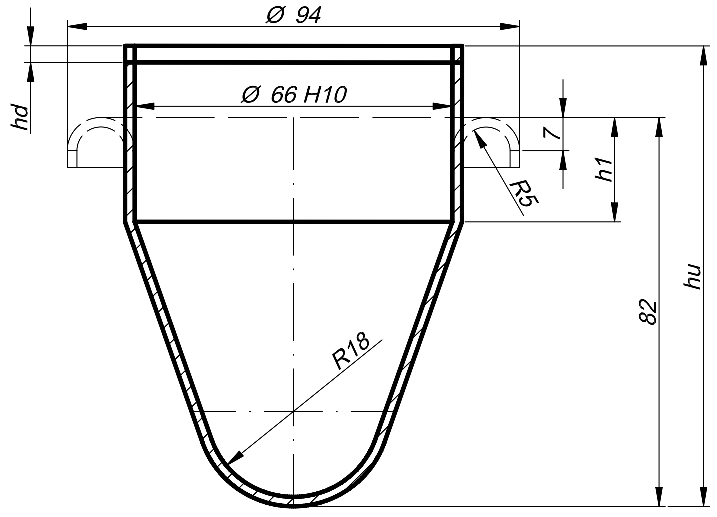
$A_2 = \pi \cdot D_1 \cdot h \Rightarrow h_c = A_2 / D_1 \cdot \pi = 9339{,}6 / 68 \cdot 3{,}14 = 43{,}7411$ mm

Stvarna visina dodatka za obrezivanje je:

$\Delta h = h_c - h_l - 15 = 43{,}7411 - 18{,}5558 - 15 = 10{,}1853$

$h_l = 18{,}5558$ – razvijena dužina luka

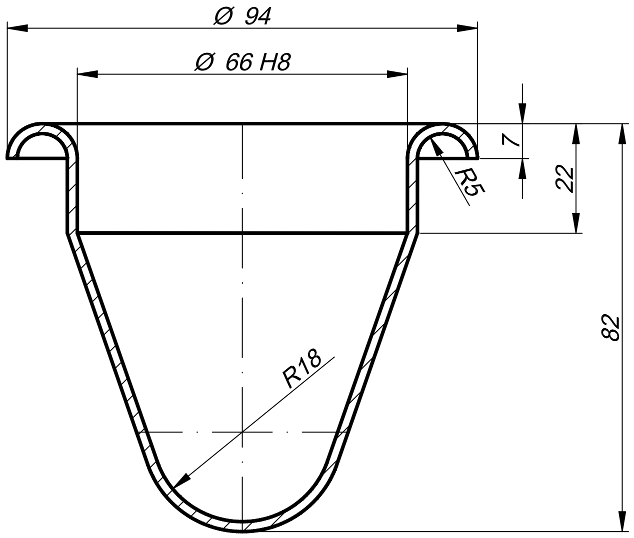
Usvaja se: $\Delta h = 10$mm



Slika 10. Prikaz radnog komada poslije četvrte operacije izvlačenja.

V operacija :
Obrezivanje cilindričnog dijela na mjeru se vrši kružnim noževima.

VI operacija :
Izrada vijenca konusnog poklopca i kalibriranje traženog oblika poklopca.



Slika 11. Prikaz radnog komada poslije šeste operacije.

1.4. Proračun i konstrukcija alata

Za svaku operaciju izrade komada potrebno je konstruirati alat. Pri konstruiranju alata polazna osnova su sve vrste obrade koje treba uraditi u toj operaciji. Neki dijelovi alata su standardizovani i usvajaju se iz standarda, dok se drugi dijelovi alata razlikuju od operacije do operacije i zavise isključivo od oblika i dimenzija komada koji se izrađuje. Za ove dijelove alata potrebno je, pomoću određenih standardnih metoda, izvršiti kompletan proračun svih dimenzija uključujući i tolerancije radnih dijelova od kojih zavisi kvalitet gotovog komada.

1.4.1. Materijal

Materijal za izradu radnih dijelova alata (prosjekača, ploče za prosijecanje, izvlakača, itd) je legirani alatni čelik Č. 4150. Ovaj čelik veoma je otporan na habanje i promjene dimenzija pri termičkoj obradi i spada u grupu boljih alatnih čelika. Tvrdoća i hemijski sastav ovog čelika dati su u tabeli 4.

Tabela 4. Tvrdoća i hemijski sastav čelika Č4150. [1]

Hemijske sastav					Tvrdoća	
Ugljik %C	Krom %Cr	Mangan %Mn	Silicij %Si	Vanadij %V	Poslije žarenja HB	Poslije kaljenja HRC
2	12	0,3	0,3	0,1	250	64

1.4.2. Operacija I

Operacija I se sastoji od prosijecanja platine na prečnik D = 156 [mm] i prve faze dubokog izvlačenja na prečnik d_1 = 78 [mm] i visinu h_1 = 63 [mm].

1.4.2.1. Određivanje dimenzija ploče za prosijecanje

Određivanje dimenzija ploče za prosijecanje se sastoji u određivanju debljine (H) i širine ruba ploče (e) pomoću empirijskih obrazaca [1]. Potom se vrši provjera ploče na savijanje.

Debljina ploče računa se po obrascu:

$$H = \left(10 + 5 \cdot s + 0{,}7 \cdot \sqrt{2 \cdot D}\right) \cdot c = \left(10 + 5 \cdot 2 + 0{,}7 \cdot \sqrt{2 \cdot 156}\right) \cdot 1 = 32{,}3644 \ [\text{mm}]$$

Usvaja se H = 34 [mm]

s = 2 [mm] – debljina lima
D = 156 [mm] – prečnik platine
c = 1 – koeficijent koji zavisi od čvrstoće materijala koji se prosijeca

Širina ruba ploče računa se po izrazu:

$$e = (10 \div 12) + 0{,}8 \cdot H = 12 + 0{,}8 \cdot 34 = 39{,}2 \text{ [mm]}$$

Usvaja se e = 40 [mm]

Vanjski prečnik ploče za prosijecanje je:

$$D = D + 2 \cdot e = 156 + 2 \cdot 40 = 236 \text{ [mm]}$$

Provjera na savijanje vrši se po izrazu:

$$\sigma_s = \frac{2{,}5 \cdot F}{H^2} \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{D}{D_0}\right) \le \sigma_{sd}$$

$D = 156$ [mm] – prečnik platine
$D_0 = D + 4 = 156 + 4 = 160$ [mm] – prečnik oslonca
$\sigma_{sd} = 500$ [MPa] – dozvoljeno naprezanje na savijanje
F [N] – sila prosijecanja računa se po izrazu

$$F = D \cdot \pi \cdot s \cdot \tau_m = 156 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 300 = 293904 \text{ [N]}$$

$\tau_m = 300$ [MPa] – čvrstoća smicanja

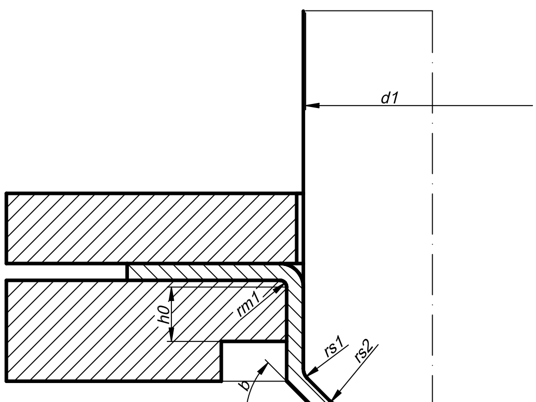
Na osnovu ovoga slijedi:

$$\sigma_s = \frac{2{,}5 \cdot F}{H^2} \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{D}{D_0}\right) = \frac{2{,}5 \cdot 293904}{34^2} \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{156}{160}\right) = 222{,}462 \ [\text{MPa}]$$

Pošto je: $\sigma_s = 222{,}462$[MPa] < $\sigma_{sd} = 500$ [MPa] ploča za prosijecanje je dobro dimenzionirana.

1.4.2.2. Određivanje dimenzija prosjekača prstena za prvu fazu izvlačenja i izvlakača

Prosjekač i prsten za prvu operaciju izvlačenja izrađeni su iz jednog dijela. Potrebno je proračunati radijus prstena za prvo izvlačenje i izvršiti provjeru površinskog pritiska između prosjekača i nosača prosjekača i prstena za izvlačenje.



Slika 12. Radijusi prstena i probojca za izvlačenje u prvoj operaciji.

Radijusi provlakača za prvo izvlačenje:

$r_{s1} = (d_1 - d_2)/2 = (78 - 58)/2 = 10$ [mm]
$r_{s1} = r_{s2} = 10$ [mm]

Radijus prstena za prvo izvlačenje je:

$$r_M = 0{,}8 \cdot \sqrt{(D - d_1) \cdot s} = 0{,}8 \cdot \sqrt{(156 - 78) \cdot 2} = 9{,}992 \ [\text{mm}]$$

Usvaja se $r_M = 10$ [mm]

Težnja je da radijus prstena za izvlačenje ima što veću vrijednost, međutim povećanjem radijusa prstena za izvlačenje se aktivna površina za draženje lima, tako da se sila držača lima koncentriše na uži prstenasti dio vijenca što otežava izvlačenje.

Visina cilindričnog dijela prstena za izvlačenje se bira od debljine lima u granicama:

$h_0 = (3 \div 5) \cdot s$ [mm]
$h_0 = 4 \cdot 2 = 8$ [mm]

Prelaz omotača u dno je izveden konusno kako zbog boljeg držanja lima u sljedećim operacijama izvlačenja, tako i zbog konusnog oblika komada koji se izvlači.
Ugao konusa se bira u granicama:

$\beta = 45° \div 50°$
Usvaja se $\beta = 45°$

Pritisak između prosjekača i nosača prosjekača i prstena za prosijecanje mora da zadovolji uslov:

$$p = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \left(d_{nv}^2 - d_{nu}^2\right)} \leq p_d$$

$F = 293904$ [N]	– sila prosijecanja
$d_{nv} = 156$ [mm]	– vanjski prečnik nosača prosjekača i prstena za prvo izvlačenje
$d_{nu} = 78$ [mm]	– unutrašnji prečnik nosača prosjekača i prstena za prvo izvlačenje
$p_d = 250$ [MPa]	– površinski pritisak za SL 18 (nosač prosjekača i prstena za izvlačenje)

Na osnovu ovoga slijedi:

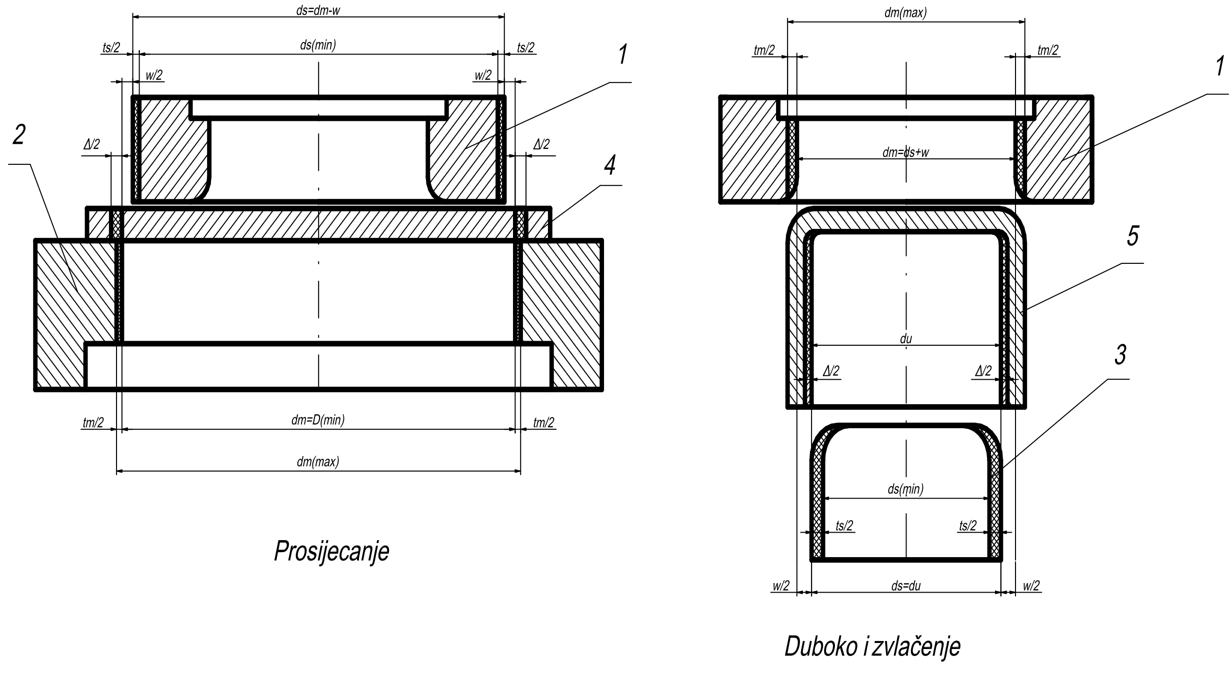
$$p = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \left(d_{nv}^2 - d_{nu}^2\right)} = \frac{4 \cdot 293904}{\pi \cdot \left(156^2 - 78^2\right)} = 20{,}52 \ [\text{MPa}]$$

Pošto je $p = 20{,}52$ [MPa] $< p_d = 250$ [MPa] između prosjekača i nosača prosjekača i prstena za provlačenje nije potrebna kaljena međuploča.

1.4.2.3. Zazori i tolerancije izrade alata za operaciju I

Zazori i tolerancije izrade alata imaju najveći utjecaja na kvalitet izrađenog komada. Isto tako povećanjem tačnosti izrade alata poskupljuje se njegova izrada pa je potrebno izvršiti određeni vid optimizacije, kojom će se postići traženi kvalitet proizvoda sa minimalnim kvalitetom izrade alata. Najčešće je tačnost izrade alata za tri kvaliteta bolja od tačnosti izrade radnog komada.

Traženi kvalitet izrade komada zadanog zadatkom je N9, pa na osnovu toga usvaja se tačnost izrade alata N6. Položaj tolerancijskih polja i zazora za alat za operaciju I dat je na slici 13.



Slika 13. Zazori i tolerancije alata za operaciju I

1 – prosjekač
2 – prsten za prosijecanje
3 – izvlakač
4 – platina
5 – radni komad

Prva operacija se sastoji od prosijecanja table lima i dovijanja platine ϕ156 mm, a zatim se odmah na istom alatu vrši izvlačenje posude sa prečnika platine ϕ156 mm na ϕ78 mm.

Zbog toga je potrebno posebno proračunati zazore i tolerancije alata za prosijecanje i zazore i tolerancije alata za duboko izvlačenje.

1.4.2.4. Zazori i tolerancije alata za prosijecanje

1.4.2.4.1. Zazor alata za prosijecanje

Između prosjekača prečnika d_s i prstena prosijecanje prečnika d_m treba predvidjeti izvjesnu zračnost:

$$f = \frac{d_m - d_s}{2}$$

Dvostruka vrijednost zračnosti se označava se kao zazor:

$$w = 2f = d_m - d_s$$

Određivanje zazora se može vršiti na više načina:
- analitički
- tabelarno po V. Romanovskom
- po G. Ohleru

a.) Analitički:

$$w = 2 \cdot s \cdot (1-\varepsilon_{ot}) \cdot tg\beta$$

gdje je:
w – zazor
s = 2 mm – debljina materijala
ε_{ot} = 0,7 ÷ 0,65 – relativna dubina prosijecanja koja zavisi od debljine i vrste materijala
ε_{ot} = 0,65
β = 5° ÷ 6° - ugao smicanja materijala za meki čelik
β = 6°

$$w = 2 \cdot s \cdot (1-\varepsilon_{ot}) \cdot tg\beta = 2 \cdot 2 \cdot (1-0,65) \cdot tg\,5° = 0,122 \text{ mm}$$

b.) Tabelarno po V. Romanovskom:

Iz tabele (br. 16) uzimamo vrijednost zazora u zavisnosti od debljine materijala i tvrdoće materijala koji se prosijeca (postotak ugljika u čeliku C = 0,1%).

w/s = 6 % w = 0,06 · 2 = 0,12 mm

c.) Po G. Ohleru:

Ovaj autor daje zazor kao funkciju debljine i čvrstoće smicanja materijala u obliku obrasca:

$$w = c \cdot s \cdot \sqrt{\frac{\tau_m}{10}} \text{ - za s < 3 mm}$$

gdje je:
s mm – debljina lima
τ_m N/mm^2 – čvrstoća materijala koji se prosijeca
c – koeficijent koji se kreće u granicama 0,005÷0,035.
Koja će se vrijednost iz ovog intervala birati zavisi od vrste alata.
Najčešće se računa sa c= 0,01.

$$w = c \cdot s \cdot \sqrt{\frac{\tau_m}{10}} = 0{,}01 \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{300}{10}} = 0{,}11 \text{ mm}$$

Usvaja se w = 0,12 mm.

Tabela 5. Proračun zazora operaciju I - prosijecanje

Zazor			
Nazivna mjera predmeta [mm]		D = 156 [mm] kvalitet N9	156 h9
Zazor [mm]	Analitički	$w = 2 \cdot s \cdot (1-\varepsilon_{ot}) \cdot tg\beta = 2 \cdot 2 \cdot (1-0{,}65) \cdot tg\ 5°$	0,122
	Po V. Romanovskom	w/s = 6 % ; w = 0,06 · 2	0,12
	Po G. Oehler	$w = c \cdot s \cdot \sqrt{\frac{\tau_m}{10}} = 0{,}01 \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{300}{10}}$	0,11
	Usvaja se	w = 0,12	0,12

1.4.2.4.2. Tolerancije alata za prosijecanje

Kod prosijecanja radni komad (jezgro) ima prečnik D (a ostatak trake je otpadak) i izradnu toleranciju Δ, koja je negativna.

Za dimenzioniranje alata je mjerodavan minimalni prečnik predmeta:

$$D_{min} = D - \Delta.$$

Prečnik prstena za probijanje (d_M) se uzima jednak minimalnoj dimenziji radnog komada (D_{min}), a prečnik prosjekača se smanjuje za iznos zazora (w).

$$d_M = D_{min} = D - \Delta$$
$$d_S = d_M - w = (D - \Delta) - w$$

Trošenje prstena ide na račun izrade tolerancije predmeta (Δ), tako da se alat smatra istrošenim kada se prečnik prstena poveća do vrijednosti $d_M = D$.

Najčešće se u praksi zahtjeva da tačnost izrade alata bude za tri kvaliteta bolja od tačnosti izrade predmeta koji se prosijeca.

Tačnost izrade predmeta IT 9 ⇒ Tačnost izrade alata IT 6.

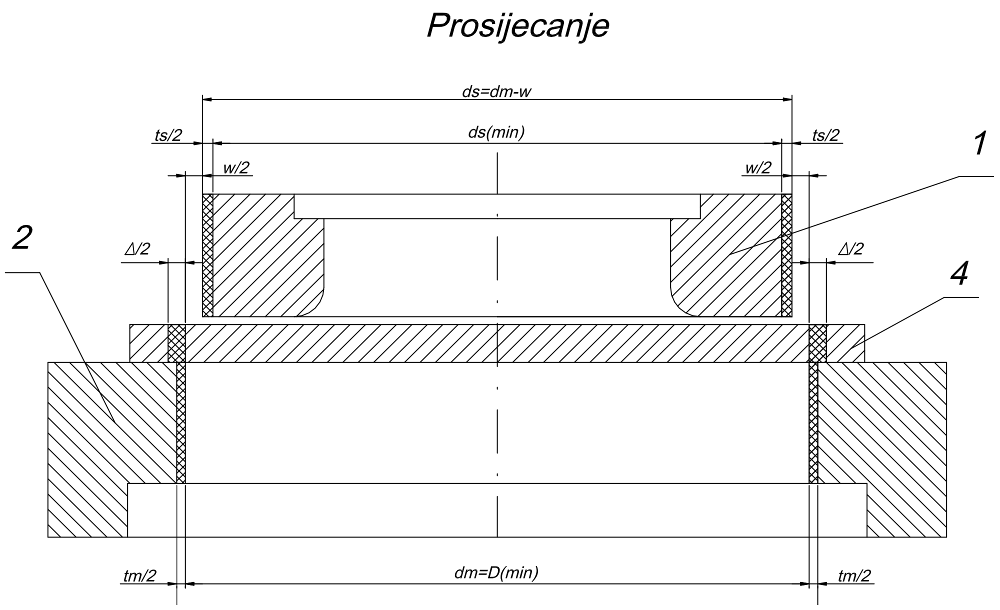
Za prečnik platine D = 156 mm tolerancije alata su:

- ploča za prosijecanje (prsten) IT9 $t_M = 100$ μm
- prosjekač IT6 $t_S = 25$ μm

Dimenzije i tolerancije za prosijecanje platine ϕ156 h9 je izveden tabelarno u tabeli 6.

Tabela 6. Dimenzije i tolerancije predmeta i alata (prsten – prosjekač) za operaciju I

Izradna tolerancija predmeta [μm]		Δ = 100	100
Najveća mjera predmeta [mm]		D_{max} = D = 156	156
Najmanja mjera predmeta [mm]		D_{min} = D – Δ =156 – 0,1	155,9
Nazivne mjere alata [mm]	Prečnik prstena za prosijecanje	d_M = D_{min} =155,9 kvalitet N7	155,9 H7
	Prečnik prosjekača	d_s = d_M – w =155,9 – 0,12 kvalitet N6	155,78 h6
Izradne tolerancije alata [μm]	Prsten	t_M = 40	40
	Prosjekač	t_s = 25	25
Dimenzije prstena za prosijecanje [mm]	Najveći prečnik	$d_{M\,max}$ = d_M + t_M = 155,9 + 0,04	155,94
	Najmanji prečnik	$d_{M\,min}$ = d_M = 155,9	155,9
Dimenzije prosjekača [mm]	Najveći prečnik	$d_{s\,max}$ = d_s =155,78	155,78
	Najmanji prečnik	$d_{s\,min}$ = d_s – t_s =155,78 – 0,025	155,755



Slika 14. Zazori i tolerancije alata za prosijecanje platine

1 – prosjekač
2 – prsten za prosijecanje
4 - platina

1.4.2.4.3 Zazor i tolerancije alata za izvlačenje

1.4.2.4.4 Zazor alata za izvlačenje

Pravilno dimenzioniran alata mora biti izveden tako da sigurno obezbjeđuje ravnomjernu zračnost (f) između prstena za izvlačenje (prečnik d_M) i izvlakača (prečnik d_S).

$$f = \frac{d_m - d_s}{2}$$

Dvostruka vrijednost zračnosti se označava se kao zazor:

$$w = 2f = d_m - d_s$$

Kod dubokog izvlačenja bez promjene debljine materijala zračnost treba da bude nešto veća od debljine lima ($f > s$).

Veličina zračnosti se određuje po raznim empirijskim obrascima:

- G. Oehler
- E. Siebelu

a.) G. Oehler daje obrazac za proračun zračnosti u zavisnosti od debljine lima i vrste materijala, u obliku:

$$f = s + c \cdot \sqrt{10 \cdot s}$$

gdje je:
f mm – zračnost
s mm – debljina lima
s = 2 mm
c – koeficijent koji zavisi od vrste materijala
c = 0,07 za čelični lim
$f = s + c \cdot \sqrt{10 \cdot s} = 2 + 0{,}07 \cdot \sqrt{10 \cdot 2} = 2{,}313$ mm
$w = 2 \cdot f = 2 \cdot 2{,}313 = 4{,}626$ mm

b.) Po E. Sieblu zračnost se može izračunati kao funkcija debljine lima (s) i odnos izvlačenja (m), po obrascu:

$$w = 2 \cdot s \cdot [1+0{,}035 \cdot (1/m_1 - 1)^3]$$

$$w = 2 \cdot s \cdot [1+0{,}035 \cdot (1/m_1 - 1)^3] = 2 \cdot 2 \cdot [1+0{,}035 \cdot (1/0{,}5 - 1)^3] = 4{,}07 \text{ mm}$$

Usvaja se w = 4,63 mm

Tabela 7. Proračun zračnosti za operaciju I izvlačenja

Zračnost			
Nazivni unutrašnji prečnik komada [mm]		$d_u = d_1 = 78$ kvalitet N9	78 H9
Zazor [mm]	Po G. Oehler	$w = 2 \cdot \left(s + c \cdot \sqrt{10 \cdot s}\right) = 2 \cdot \left(2 + 0{,}07 \cdot \sqrt{10 \cdot 2}\right)$	4,626
	Po E. Siebelu	$w = 2 \cdot s \cdot [1+0{,}035 \cdot (1/m_1 - 1)^3] = 2 \cdot 2 \cdot [1+0{,}035 \cdot (1/0{,}55 - 1)^3]$	4,077
	Usvaja se	$w = 4{,}63$	4,352

1.4.2.4.5 Tolerancije alata za izvlačenje

Tolerisan je unutrašnji prečnik ($d_u + \Delta$).

U ovom slučaju prečnik izvlakača se uzima jednak najmanjem prečniku predmeta, a prečnik prstena je za iznos veličine zazora veći od prečnika izvlakača:

$d_s = d_u$
$d_M = d_s + w = d_u + w$

Minimalni prečnik izvlakača i maksimalni prečnik prstena za izvlačenje se određuje po obrascu:

$d_{s(min)} = d_s - t_s = d_u - t_s$
$d_{M(max)} = d_M + t_M = d_u + w + t_M$

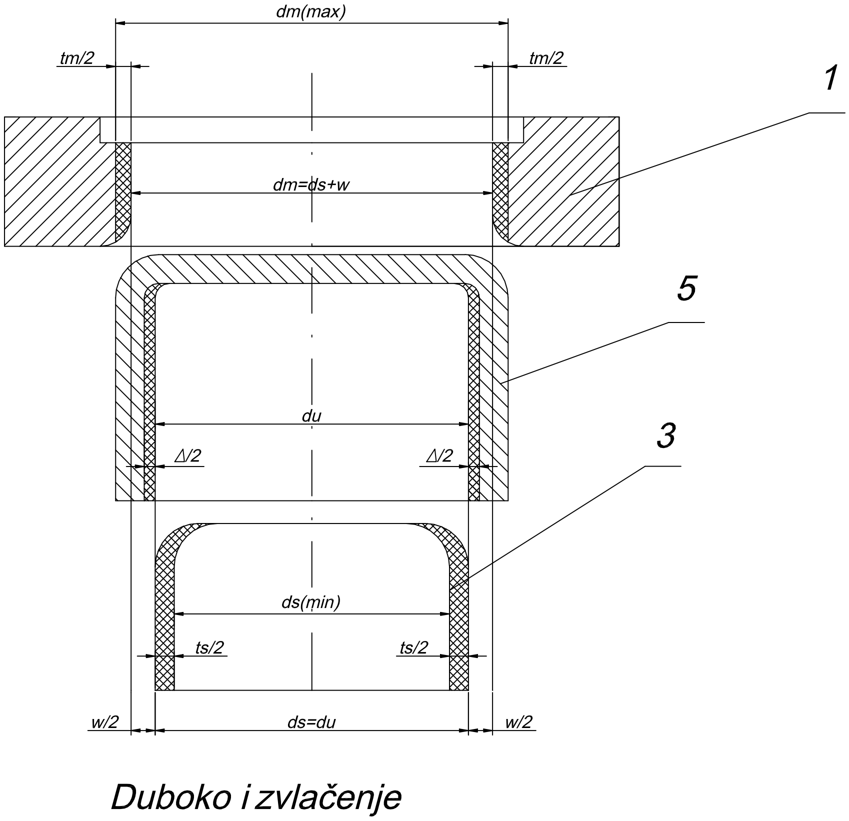
gdje je:
d_u mm – nazivni unutrašnji prečnik predmeta

Proračun tolerancije alata za izvlačenje prve operacije je prikazan u tabeli 8.

Tabela 8. Dimenzije i tolerancije predmeta i alata (prsten – izvlakač) za operaciju I

Nazivni unutrašnji prečnik komada [mm]		$d_s = d_u = d_1 = 78$ kvalitet N9	78 H9
Izradna tolerancija predmeta [μm]		$\Delta = 74$	74
Najveća mjera predmeta [mm]		$d_{u\,max} = d_u + \Delta = 78 + 0{,}074$	78,074
Najmanja mjera predmeta [mm]		$d_{u\,min} = d_u = 78$	78
Nazivne mjere alata [mm]	Prečnik prstena za izvlačenje	$d_M = d_s + w = 78 + 4{,}63$ kvalitet N7	82,63 H7
	Prečnik izvlakača	$d_s = d_u = 78$ kvalitet N6	78 h6
Izradne tolerancije alata [μm]	Prsten za izvlačenje	$t_M = 150$	150
	Izvlakač	$t_s = 100$	100
Dimenzije prstena za izvlačenje [mm]	Najveći prečnik	$d_{M\,max} = d_M + t_M = 82{,}63 + 0{,}15$	82,78
	Najmanji prečnik	$d_{M\,min} = d_M = 82{,}63$	82,63
Dimenzije izvlakača [mm]	Najveći prečnik	$d_{s\,max} = d_s = 78$	78

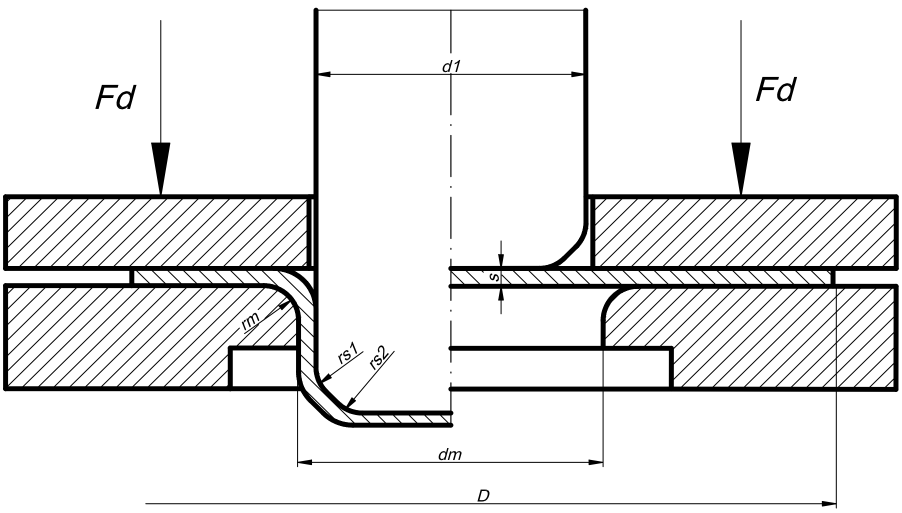
	Najmanji prečnik	$d_{s\,min} = d_s - t_s = 78 - 0{,}1$	77,9



Slika 15. Zazori i tolerancije alata za duboko izvlačenje prve operacije

1 – prsten za izvlačenje
3 – izvlakač
5 – radni komad

1.4.2.5. Držač lima za operaciju I



Slika 16. Držač lima za operaciju I

Držač lima sprečava obrazovanje nabora kod dubokog izvlačenja, djelujući na površinu lima koji se izvlači sa određenim površinskim pritiskom. Visina ovog pritiska je veoma bitna jer on mora biti dovoljno visok da spriječi stvaranje nabora, ali i ne suviše veliki da ne bi doveo do trganja komada.

Kriterij za određivanje uslova da li je potreban držač lima je vrijednost relativne debljine materijala (s_r) i odnos izvlačenja (m_i).

Komadi se mogu izvlačiti bez držača lima ako je ispunjen uslov za prvu fazu izvlačenja:

$$s_r \geq 2\ \% \qquad \text{i} \qquad m_1 \geq 0{,}6$$

U slučaju izrade konusnog poklopca je:

$s_r = 1{,}282$ – relativna debljina materijala
$m_1 = 0{,}5$ – odnos izvlačenja za prvu fazu izvlačenja

što znači da nije ispunjen uslov da se izvlačenje vrši bez držača lima.

Površinski pritisak držača lima za prvu fazu izvlačenja računa se po izrazu:

$$p_d = (0{,}2 \div 0{,}3) \cdot \left[\left(\frac{D}{d_1} - 1 \right)^3 + \frac{d_1}{200 \cdot s} \right] \cdot 10^{-2} \cdot \sigma_m$$

$D = 156$ [mm] – prečnik platine
$d_1 = 78$ [mm] – prečnik predmeta nakon prve faze izvlačenja
$s = 2$ [mm] – debljina lima
$\sigma_m = 380$ [MPa] – jačina na kidanje

Na osnovu ovoga površinski pritisak držača lima je:

$$p_d = (0{,}2 \div 0{,}3) \cdot \left[\left(\frac{D}{d_1} - 1 \right)^3 + \frac{d_1}{200 \cdot s} \right] \cdot 10^{-2} \cdot \sigma_m =$$

$$= 0{,}25 \cdot \left[\left(\frac{156}{78} - 1 \right)^3 + \frac{78}{200 \cdot 2} \right] \cdot 10^{-2} \cdot 380 = 1{,}13525\ [\text{MPa}]$$

Površina na koju djeluje pritisak u prvoj fazi izvlačenja je:

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot \left[D^2 - (d_M + 2 \cdot r_{s2})^2 \right]$$

$D = 156$ [mm] – prečnik platine
$d_M = 82{,}63$ [mm] – prečnik prstena prve faze izvlačenja
$r_{s2} = 10$ [mm] – radijus prstena prve faze izvlačenja

Na osnovu ovoga površina je:

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot \left[D^2 - (d_M + 2 \cdot r_M)^2 \right] = \frac{\pi}{4} \cdot \left[156^2 - (82{,}62 + 2 \cdot 10)^2 \right] = 10837{,}03\ [\text{mm}^2]$$

Sila držača lima za operaciju I je:

$$F_d = p_d \cdot A_1 = 1{,}13525 \cdot 10837{,}03 = 12302{,}74\ [\text{N}]$$

Na osnovu izvora koji daju silu potrebnu za držač lima postoji više izvedbi držača lima:

- držač lima sa oprugom
- pneumatski držač lima
- hidraulični držač lima

Držač lima za operaciju I je izveden kao pneumatski držač lima. Prednost ovog držača je što sila držača lima ostaje konstantna u toku cijelog procesa izvlačenja. Glavni dijelovi su: klip, cilindar, akomulator (koji je priključen na mrežu zračnog razvoda fabrike ili kompresor) i klipnjača preko koje se sila prenosi na držač lima. Pritisak u cilindru je $p_0 = 0{,}8$ [MPa]

Prečnik cilindra je:

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \cdot F_d}{p_0 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 12302{,}74}{0{,}8 \cdot \pi}} = 139{,}96 \ [\text{mm}]$$

Usvaja se $D_c = 140$ [mm]

1.4.3. Operacija II

Druga operacija izvlačenja se sastoji od redukcije prečnika cilindra ϕ78 mm na ϕ66 mm uz istovremeno izvlačenje konusa sa ϕ58 na ϕ45,24 i visine $h_1 = 10$ mm na $h_2 = 29$ mm.

1.4.3.1 Određivanje dimenzija izvlakača i prstena za drugu fazu izvlačenja

Povećanjem radijusa prstena za izvlačenje (r_M) i radijusa izvlakača (r_s) opada dozvoljeni odnos izvlačenja što dovodi do smanjenja broja potrebnih operacija izrade komada. Međutim, povećanjem radijusa prstena za izvlačenje smanjuje se površina držača lima tako da se sila držača lima koncentriše na uži prstenasti dio vijenca čančeta, što otežava uslove izvlačenja i izaziva pucanje komada. Može se zaključiti da određivanje radijusa prstena za izvlačenje i radijusa izvlakača predstavlja jedan od bitnih faktora za optimalno konstruisanje alata za izvlačenje.

Uslijed navedenih problema sa radijusima alata kod izvlačenja u drugoj i sljedećim operacijama zbog boljeg držanja lima redovito dolazi u obzir prsten sa konusnim profilom.

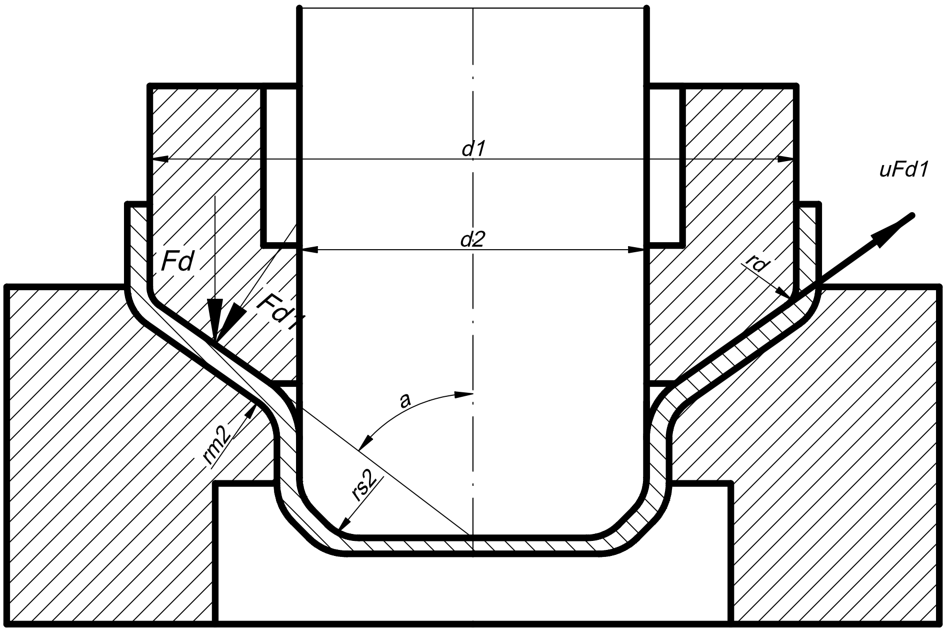
Radijus izvlakača za drugu fazu izvlačenja izračunava se isto kao i radijus prstena za drugo izvlačenje tj. $r_M = r_S$.

Radijus prstena za drugo izvlačenje je:

$$r_M = 0{,}8 \cdot \sqrt{(d_1 - d_2) \cdot s} = 0{,}8 \cdot \sqrt{(78 - 66) \cdot 2} = 3{,}919 \ [\text{mm}]$$

Usvaja se $r_M = 4$ [mm]

$d_1 = 78$ [mm] – unutrašnji prečnik komada nakon operacije I
$d_2 = 66$ [mm] – unutrašnji prečnik komada nakon operacije II



Slika 17. Prikaz držača za drugu operaciju izvlačenja

Na osnovu proračuna radijusa prstena i geometrije radnog komada usvajamo sljedeće vrijednosti radijusa alata:

$r_{m2} = r_{s2} = 4$ mm

$r_{d2} = 4$ mm

Centralni ugao za izvlačenje bez promjene debljine materijala je definiran konusnom površinom koju treba dobiti nakon izvlačenja. Na osnovu prečnika moguće je izračunati centralni ugao za izvlačenje :

$$\text{tg}\ \alpha = \frac{(d_1 - d_2)/2}{h_2} = \frac{(66-45{,}24)/2}{29} = \frac{10{,}38}{29} \Rightarrow \alpha = 19{,}7°$$

1.4.3.2. Zazori i tolerancije alata za operaciju II

Traženi kavlitet izrade unutrašnjeg prečnika komada definisan je zadatkom i iznosi N9. Na osnovu njega bira se kvalitet izrade alata N6 koji je za tri klase tačnosti bolji od kvaliteta izrada radnog konada. Proračun vrijednosti zazora i tolerancija dat je u tabeli 9 i10. a položaj tolerancijskih polja i zazora za operaciju II dat je na na slici 18.

Tabela 9. Proračun zračnosti za operaciju II izvlačenja

Zračnost			
Nazivni unutrašnji prečnik komada [mm]		$d_u = d_2 = 66$ kvalitet N9	66 H10
Zazor [mm]	Po G. Oehler	$w = 2 \cdot (s + c \cdot \sqrt{10 \cdot s}) = 2 \cdot (2 + 0{,}07 \cdot \sqrt{10 \cdot 2})$	4,626
	Po E. Siebelu	$w = 2 \cdot s \cdot [1+0{,}035 \cdot (1/m_I - 1)^3] = 2 \cdot 2 \cdot [1+0{,}035 \cdot (1/0{,}75 - 1)^3]$	4,005
	Usvaja se	w = 4,63	4,32

Tabela 10. Dimenzije i tolerancije predmeta i alata (prsten – izvlakač) za operaciju II

Nazivni unutrašnji prečnik komada [mm]		d_s=d_u = d_2 =66 kvalitet N9	66 H10
Izradna tolerancija predmeta [μm]		Δ = 120	120
Najveća mjera predmeta [mm]		$d_{u\,max} = d_u + \Delta = 66 + 0{,}120$	66,120
Najmanja mjera predmeta [mm]		$d_{u\,min} = d_u = 66$	66
Nazivne mjere alata [mm]	Prečnik prstena za izvlačenje	$d_M = d_s + w = 66 + 4{,}63$ kvalitet N7	70,63 H7
	Prečnik izvlakača	$d_s = d_u = 66$ kvalitet N6	66 h6
Izradne tolerancije alata [μm]	Prsten za izvlačenje	$t_M = 150$	150
	Izvlakač	$t_s = 100$	100
Dimenzije prstena za izvlačenje [mm]	Najveći prečnik	$d_{M\,max} = d_M + t_M = 70{,}63 + 0{,}15$	70,78
	Najmanji prečnik	$d_{M\,min} = d_M = 70{,}63$	70,63
Dimenzije izvlakača [mm]	Najveći prečnik	$d_{s\,max} = d_s = 66$	66
	Najveći prečnik	$d_{s\,min} = d_s - t_s = 66 - 0{,}1$	65,9

1.4.3.3 Držač lima za operaciju II

Kriterij na osnovu koga se određuje da li je potreban držač lima za drugu i ostale faze izvlačenja je:

$$s_{ri} = \frac{s}{d_{i-1}} \cdot 100\% \geq 1{,}5\% \qquad \text{– relativna debljina lima}$$

$$m_i \geq 0{,}8 \qquad \text{– odnos izvlačenja}$$

Za drugu fazu izvlačenja relativna debljina lima je:

$$s_r = \frac{s}{d_1} \cdot 100\% = \frac{2}{78} \cdot 100\% = 2{,}564\% \qquad \text{a odnos izvlačenja} \quad m_2 = 0{,}75$$

Na osnovu gornjeg kriterija može se zaključiti da je potreban držač lima i za ovu operaciju izrade.Površinski pritisak držača lima za drugu i ostale faze izvlačenja se određuje po brascu:

$$p_{di} = (0{,}2 \div 0{,}3) \cdot \left[\left(\frac{d_{i-1}}{d_i} - 1 \right)^3 + \frac{d_i}{200 \cdot s} \right] \cdot 10^{-2} \cdot \sigma_m$$

d_i i d_{i-1} [mm] – unutrašnji prečnici komada nakon i-te i (i-1)-e faze izvlačenja

Površinski pritisak držača lima za operaciju II je:

$$p_d = (0{,}2 \div 0{,}3) \cdot \left[\left(\frac{d_1}{d_2} - 1 \right)^3 + \frac{d_2}{200 \cdot s} \right] \cdot 10^{-2} \cdot \sigma_m =$$

$$= 0{,}25 \cdot \left[\left(\frac{78}{66} - 1 \right)^3 + \frac{66}{200 \cdot 2} \right] \cdot 10^{-2} \cdot 380 = 0{,}1625 \ [\text{MPa}]$$

$d_1 = 78$ [mm] – prečnik predmeta nakon prve faze izvlačenja
$d_2 = 66$ [mm] – prečnik predmeta nakon druge faze izvlačenja
$s = 2$ [mm] – debljina lima
$\sigma_m = 380$ [MPa] – jačina na kidanje

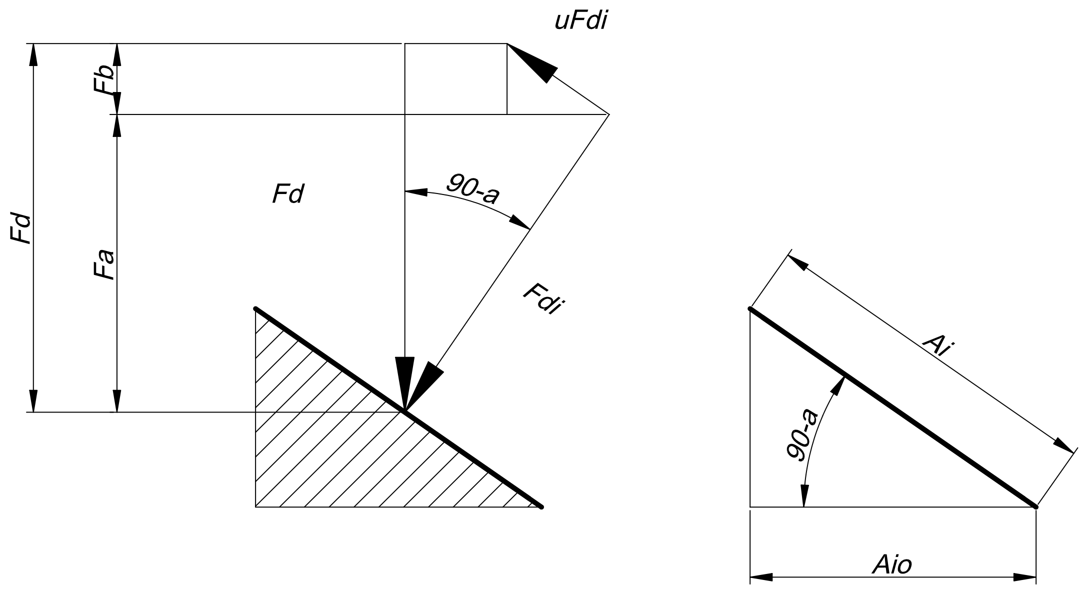
Površina na koju djeluje površinski pritisak držača lima za operaciju II je:

$$A_i = \frac{Aio}{\cos(90-\alpha)} = \frac{Aio}{\sin\alpha} = \frac{1}{\sin\alpha}\cdot\frac{\pi}{4}\cdot\left[d^2_{i-1} - (d_i + 2\cdot s)^2\right] \quad (\text{mm}^2)$$

α - centralni ugao nagiba konusnog dijela prstena za izvlačenje

Sila držača lima za operaciju II sastoji se iz dvije komponente
$F_d = F_a + F_b$

gdje je :
F_a – komponenta normalne sile držača (F_{d1})
$F_a = F_{d1} \cdot \cos(90\text{-}\alpha) = F_{d1} \cdot \sin\alpha$
F_b – komponenta otpora trenja (μF_{d1})
$F_b = \mu F_{d1} \cdot \sin(90\text{-}\alpha) = \mu F_{d1} \cdot \cos\alpha$
$F_d = F_{d1} \cdot (\sin\alpha + \mu \cdot \cos\alpha)$



Slika 18. Analiza sila na držaču .

Obzirom da je normalna sila držača:

$$F_{d2} = A_i \cdot p_{di} = \frac{1}{\sin\alpha}\cdot\frac{\pi}{4}\cdot\left[d^2_{i-1} - (d_i + 2\cdot s)^2\right]\cdot p_{di} \quad (\text{N})$$

to je sila držača za sljedeće operacije izvlačenja:

$$F_{d2} = \frac{\pi}{4}\cdot\left[d^2_{i-1} - (d_i + 2\cdot s)^2\right]\cdot(1 + \mu\cdot\text{ctg}\alpha)\cdot p_{di} \quad (\text{N})$$

μ - koeficijent trenja koji se za kvalitetno izrađene površine kreće u granicama 0,1÷0,15
μ = 0,12 – koeficijent trenja

Sila držača za II operaciju izvlačenja je:

$$F_{d2} = \frac{\pi}{4} \cdot \left[78^2 - (66 + 2 \cdot 2)^2\right] \cdot (1 + 0{,}12 \cdot \text{ctg } 19{,}7°) \cdot 0{,}1625 = 201{,}65 \quad \text{(N)}$$

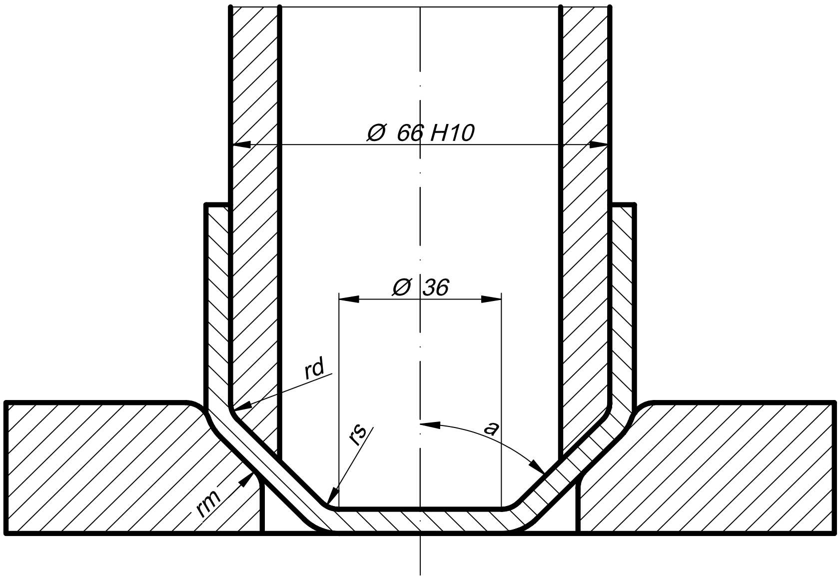
Kao izvor sile za držač lima operacije II služi pneumatski držač lima. Pritisak u cilindru je p_0 = 0,6 [MPa]. Prečnik cilindra je

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \cdot F_d}{p_0 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 201{,}65}{0{,}6 \cdot \pi}} = 20{,}69 \ [\text{mm}]$$

Usvaja se D_c = 22 [mm]

1.4.4. Operacija III

Treća operacija izvlačenja se sastoji od izvlačenje konusa sa prečnicima dna ϕ45,24 na ϕ36 i visine h_2 = 29 mm na h_3 = 42 mm. Ovo izduženje konusa se vrši na osnovu skraćenja cilindričnog dijela radnog komada.



Slika 19. Prikaz treće opreacije izvlačenja

1.4.4.1 Određivanje dimenzija izvlakača i prstena za treću operaciju izvlačenja

Radijus prstena za drugo izvlačenje je:

$$r_M = 0{,}8 \cdot \sqrt{(d_2 - d_3) \cdot s} = 0{,}8 \cdot \sqrt{(45{,}24 - 36) \cdot 2} = 3{,}439 \ [\text{mm}]$$

Usvaja se r_M = 4 [mm]
d_2 = 45,24 [mm] – unutrašnji prečnik komada nakon operacije II
d_3 = 36 [mm] – unutrašnji prečnik komada nakon operacije III

Na osnovu proračuna radijusa prstena i geometrije radnog komada usvajamo sljedeće vrijednosti radijusa alata:

r_{m3} = 4 mm – radijus prstena za izvlačenje
r_{s3} = 4 mm – radijus izvlakača
r_{d3} = 4 mm – radijus držača

Centralni ugao za izvlačenje bez promjene debljine materijala je definiran konusnom površinom koju treba dobiti nakon izvlačenja. Na osnovu prečnika moguće je izračunati centralni ugao za izvlačenje :

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{(d_1 - d_3)/2}{h_3} = \frac{(66-36)/2}{42} = \frac{15}{42} \Rightarrow \quad \alpha = 19{,}653°$$

1.4.4.2. Zazori i tolerancije alata za III operaciju

Traženi kavlitet izrade unutrašnjeg prečnika komada definisan je zadatkom i iznosi N9. Na osnovu njega bira se kvalitet izrade alata N6 koji je za tri klase tačnosti bolji od kvaliteta izrada radnog konada. Proračun vrijednosti zazora i tolerancija dat je u tabeli 11 i12.

Tabela 11. Proračun zračnosti za operaciju III izvlačenja

Zračnost			
Nazivni unutrašnji prečnik komada [mm]		$d_u = d_2$ =66 kvalitet N9	66 H10
Zazor [mm]	Po G. Oehler	$w = 2 \cdot \left(s + c \cdot \sqrt{10 \cdot s}\right) = 2 \cdot \left(2 + 0{,}07 \cdot \sqrt{10 \cdot 2}\right)$	4,626
	Po E. Siebelu	$w = 2 \cdot s \cdot [1+0{,}035 \cdot (1/m_I - 1)^3] = 2 \cdot 2 \cdot [1+0{,}035 \cdot (1/0{,}78 - 1)^3]$	4,003
	Usvaja se	w = 4,63	4,32

Tabela 12. Dimenzije i tolerancije predmeta i alata (prsten – izvlakač) za operaciju III

Nazivni unutrašnji prečnik komada [mm]		$d_s=d_u = d_2$ =66 kvalitet N9	66 H10
Izradna tolerancija predmeta [μm]		Δ = 120	120
Najveća mjera predmeta [mm]		$d_{u\,max} = d_u + \Delta = 66 + 0{,}120$	66,120
Najmanja mjera predmeta [mm]		$d_{u\,min} = d_u = 66$	66
Nazivne mjere alata [mm]	Prečnik prstena za izvlačenje	$d_M = d_s + w = 66 + 4{,}63$ kvalitet N7	70,63 H7
	Prečnik izvlakača	$d_s = d_u = 66$ kvalitet N6	66 h6
Izradne tolerancije alata [μm]	Prsten za izvlačenje	$t_M = 150$	150
	Izvlakač	$t_s = 100$	100
Dimenzije prstena za izvlačenje [mm]	Najveći prečnik	$d_{M\,max} = d_M + t_M = 70{,}63 + 0{,}15$	70,78
	Najmanji prečnik	$d_{M\,min} = d_M$ =70,63	70,63
Dimenzije izvlakača [mm]	Najveći prečnik	$d_{s\,max} = d_s = 66$	66
	Najveći prečnik	$d_{s\,min} = d_s - t_s = 66 - 0{,}1$	65,9

1.4.4.3. Držač lima za operaciju III operaciju izvlačenja

.Površinski pritisak držača lima za drugu i ostale faze izvlačenja se određuje po brascu:

$$p_{di} = (0,2 \div 0,3) \cdot \left[\left(\frac{d_{i-1}}{d_i} - 1 \right)^3 + \frac{d_i}{200 \cdot s} \right] \cdot 10^{-2} \cdot \sigma_m$$

d_i i d_{i-1} [mm] – unutrašnji prečnici komada nakon i-te i (i-1)-e faze izvlačenja

Površinski pritisak držača lima za operaciju II je:

$$p_d = (0,2 \div 0,3) \cdot \left[\left(\frac{d_1}{d_2} - 1 \right)^3 + \frac{d_2}{200 \cdot s} \right] \cdot 10^{-2} \cdot \sigma_m =$$

$$= 0,25 \cdot \left[\left(\frac{45,24}{36} - 1 \right)^3 + \frac{36}{200 \cdot 2} \right] \cdot 10^{-2} \cdot 380 = 0,1015632 \ [\text{MPa}]$$

d_1 = 45,24 [mm] - prečnik predmeta nakon druge faze izvlačenja
d_2 = 36 [mm] – prečnik predmeta nakon treće faze izvlačenja
s = 2 [mm] – debljina lima
σ_m = 380 [MPa] – jačina na kidanje

Površina na koju djeluje površinski pritisak držača lima za operaciju II je:

$$A_i = \frac{Aio}{\cos(90 - \alpha)} = \frac{Aio}{\sin\alpha} = \frac{1}{\sin\alpha} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left[d^2{}_{i-1} - (d_i + 2 \cdot s)^2 \right] \quad (\text{mm}^2)$$

α - centralni ugao nagiba konusnog dijela prstena za izvlačenje

Sila držača za III operaciju izvlačenja je:

$$F_{d2} = \frac{\pi}{4} \cdot \left[45,24^2 - (36 + 2 \cdot 2)^2 \right] \cdot (1 + 0,12 \cdot \text{ctg } 19,653°) \cdot 0,1015632 = 47,575 \quad (\text{N})$$

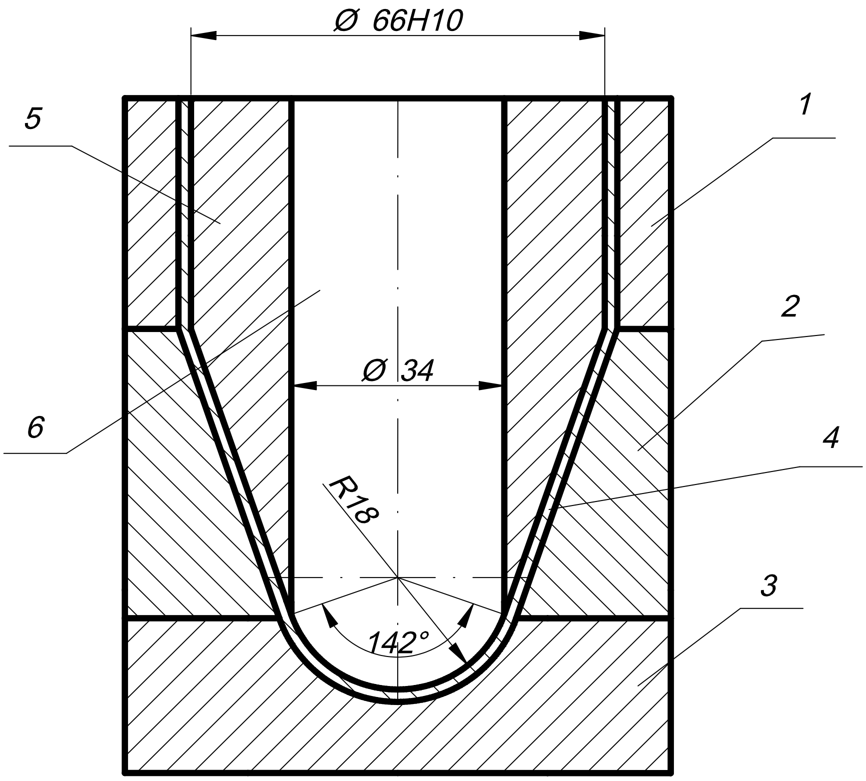
Kao izvor sile za držač lima operacije III služi pneumatski držač lima. Pritisak u cilindru je p_0 = 0,5 [MPa]. Prečnik cilindra je

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \cdot F_d}{p_0 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 47,575}{0,5 \cdot \pi}} = 11,01 \ [\text{mm}]$$

Usvaja se D_c = 12 [mm]

1.4.5. Operacija IV

Četvrta operacija izvlačenja se sastoji od izvlačenje konusa na konačnu mjeru h = 58 mm i izvlačenja dna komada u obliku dijela sfere R = 18 mm. Ovom operacijom odbijamo konačne mjere radnog komada.



Slika 20. Prikaz četvrte opreacije izvlačenja

1 – prsten za cilindrični dio
2 – prsten za konusni dio
3 – kalup za izvlačenje sfernog dijela
4 – radni komad
5 – držač za četvrtu operaciju
6 - izvlakač

1.4.5.1 Određivanje dimenzija izvlakača i prstena za četvrtu izvlačenja

Radijus prstena za drugo izvlačenje je:
$r_M = 4$ [mm] – usvajamo ga iz konstruktivnih razloga
$d_3 = 36$ [mm] – unutrašnji prečnik komada nakon operacije III
Na osnovu proračuna radijusa prstena i geometrije radnog komada usvajamo sljedeće vrijednosti radijusa alata:
$r_{m4} = 4$ mm – radijus prstena za izvlačenje
$r_{s3} = 18$ mm – radijus izvlakača
$r_{d3} = 0,5$ mm – radijus držača

Centralni ugao za izvlačenje bez promjene debljine materijala je definiran konusnom površinom koju treba dobiti nakon izvlačenja. Na osnovu prečnika moguće je izračunati centralni ugao za izvlačenje :

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{(d_1 - d_3)/2}{h_3} = \frac{(66-36)/2}{42} = \frac{15}{42} \Rightarrow \alpha = 19{,}653°$$

1.4.5.2. Zazori i tolerancije alata za IV operaciju

Traženi kavlitet izrade unutrašnjeg prečnika komada definisan je zadatkom i iznosi N9. Na osnovu njega bira se kvalitet izrade alata N6 koji je za tri klase tačnosti bolji od kvaliteta izrada radnog konada. Proračun vrijednosti zazora i tolerancija dat je u tabeli 13 i14.

Tabela 13. Proračun zračnosti za operaciju III izvlačenja

Zračnost			
Nazivni unutrašnji prečnik komada [mm]		$d_u = d_2 = 66$ kvalitet N9	66 H10
Zazor [mm]	Po G. Oehler	$w = 2 \cdot \left(s + c \cdot \sqrt{10 \cdot s}\right) = 2 \cdot \left(2 + 0{,}07 \cdot \sqrt{10 \cdot 2}\right)$	4,626
	Po E. Siebelu	$w = 2 \cdot s \cdot [1+0{,}035 \cdot (1/m_I - 1)^3] =$ $= 2 \cdot 2 \cdot [1+0{,}035 \cdot (1/0{,}78 - 1)^3]$	4,003
	Usvaja se	$w = 4{,}63$	4,32

Tabela 14. Dimenzije i tolerancije predmeta i alata (prsten – izvlakač) za operaciju III

Nazivni unutrašnji prečnik komada [mm]		$d_s = d_u = d_2 = 66$ kvalitet N9	66 H10
Izradna tolerancija predmeta [μm]		$\Delta = 120$	120
Najveća mjera predmeta [mm]		$d_{u\,max} = d_u + \Delta = 66 + 0{,}120$	66,120
Najmanja mjera predmeta [mm]		$d_{u\,min} = d_u = 66$	66
Nazivne mjere alata [mm]	Prečnik prstena za izvlačenje	$d_M = d_s + w = 66 + 4{,}63$ kvalitet N7	70,63 H7
	Prečnik izvlakača	$d_s = d_u = 66$ kvalitet N6	66 h6
Izradne tolerancije alata [μm]	Prsten za izvlačenje	$t_M = 150$	150
	Izvlakač	$t_s = 100$	100
Dimenzije prstena za izvlačenje [mm]	Najveći prečnik	$d_{M\,max} = d_M + t_M = 70{,}63 + 0{,}15$	70,78
	Najmanji prečnik	$d_{M\,min} = d_M = 70{,}63$	70,63
Dimenzije izvlakača [mm]	Najveći prečnik	$d_{s\,max} = d_s = 66$	66
	Najveći prečnik	$d_{s\,min} = d_s - t_s = 66 - 0{,}1$	65,9

1.4.5.3. Držač lima za operaciju IV operaciju izvlačenja

$$p_{di} = (0{,}2 \div 0{,}3) \cdot \left[\left(\frac{d_{i-1}}{d_i} - 1\right)^3 + \frac{d_i}{200 \cdot s}\right] \cdot 10^{-2} \cdot \sigma_m$$

.Površinski pritisak držača lima za drugu i ostale faze izvlačenja se određuje po brascu:

d_i i d_{i-1} [mm] – unutrašnji prečnici komada nakon i-te i (i-1)-e faze izvlačenja

Površinski pritisak držača lima za operaciju IV je:

$$p_d = (0{,}2 \div 0{,}3)\cdot\left[\left(\frac{d_1}{d_2}-1\right)^3 + \frac{d_2}{200\cdot s}\right]\cdot 10^{-2}\cdot\sigma_m =$$

$$= 0{,}25\cdot\left[\left(\frac{45{,}24}{36}-1\right)^3 + \frac{36}{200\cdot 2}\right]\cdot 10^{-2}\cdot 380 = 0{,}1015632\ [\mathrm{MPa}]$$

d_1 = 45,24 [mm] - prečnik predmeta nakon druge faze izvlačenja
d_2 = 36 [mm] – prečnik predmeta nakon treće faze izvlačenja
s = 2 [mm] – debljina lima
σ_m = 380 [MPa] – jačina na kidanje

Površina na koju djeluje površinski pritisak držača lima za operaciju II je:

$$A_i = \frac{Aio}{\cos(90-\alpha)} = \frac{Aio}{\sin\alpha} = \frac{1}{\sin\alpha}\cdot\frac{\pi}{4}\cdot\left[d^2{}_{i-1} - (d_i + 2\cdot s)^2\right] \quad (\mathrm{mm}^2)$$

α - centralni ugao nagiba konusnog dijela prstena za izvlačenje

Sila držača za IV operaciju izvlačenja je:

$$F_{d2} = \frac{\pi}{4}\cdot\left[45{,}24^2 - (36 + 2\cdot 2)^2\right]\cdot(1 + 0{,}12\cdot \mathrm{ctg}\ 19{,}653°)\cdot 0{,}1015632 = 47{,}575 \quad (\mathrm{N})$$

Kao izvor sile za držač lima operacije IV služi pneumatski držač lima. Pritisak u cilindru je p_0 = 0,5 [MPa]. Prečnik cilindra je

$$D_c = \sqrt{\frac{4\cdot F_d}{p_0\cdot\pi}} = \sqrt{\frac{4\cdot 47{,}575}{0{,}5\cdot\pi}} = 11{,}01\ [\mathrm{mm}]$$

Usvaja se D_c = 12 [mm]

1.4.6. Operacija V

Operacija V sa sastoji od obrezivanja ruba posude.
Određivanje visine obrezivanja odredi ćemo metodom parcijalnih površina.

IV operacija – operacija izvlačenja sfernog dijela i postizanja traženih dimenzija.

A_4 – Površina sfernog dijela
$A_4 = 2\cdot R\cdot h_s\cdot\pi$
$h_s = R\cdot(1-\sin\varphi) = 18\cdot(1-\sin 19{,}653°) = 11{,}9462$ mm
$A_4 = 2\cdot 18\cdot 11{,}9462\cdot\pi = 1350{,}4\ \mathrm{mm}^2$

Površina konusa:
A_3 – Površina konusnog dijela
$A_3 = s\cdot\pi\cdot(D_1 + d)/2$

$s = \frac{H-h-R}{\cos\varphi} - \frac{d \cdot \sin\varphi}{2}$ - Izvodnica konusa

$tg\ \varphi = \frac{D_1/2-R}{H-h-R} = \frac{66/2-18}{82-22-18} = 15/42 \quad \Rightarrow \quad \varphi = 19{,}653°$

d = 2 · x
x = R · cos φ = 18 · cos 19,653° = 16,95 mm
d = 2 · 16,95 = 33,9 mm

$a = \frac{82-22-18}{\cos 19{,}653} - \frac{33{,}9 \cdot \sin 19{,}653}{2} = 50{,}3$ mm

$A_3 = 50{,}3 \cdot \pi \cdot (66 + 33{,}9)/2 = 7889{,}36\ mm^2$

Suma svih površina koje su definisane pri izvlačenju:
$\Sigma A_i = A_3 + A_4 + = 9764{,}16\ mm^2$

$A_p = D^2 \cdot \pi/4 = 156^2 \cdot 3{,}14/4 = 19103{,}76\ mm^2$ - površina platine

$A_c = A_p - \Sigma A_i = 19103{,}76 – 18485{,}176 = 9339{,}6\ mm^2$ –površina cilindra sa dodatkom

A_2 – Površina cilindričnog dijela
$A_2 = \pi \cdot D_1 \cdot h \Rightarrow h_c = A_2 / D_1 \cdot \pi = 9339{,}6 / 68 \cdot 3{,}14 = 43{,}7411$ mm

Stvarna visina dodatka za obrezivanje je:

$\Delta h = h_c – h_l – 15 = 43{,}7411 – 18{,}5558 – 15 = 10{,}1853$

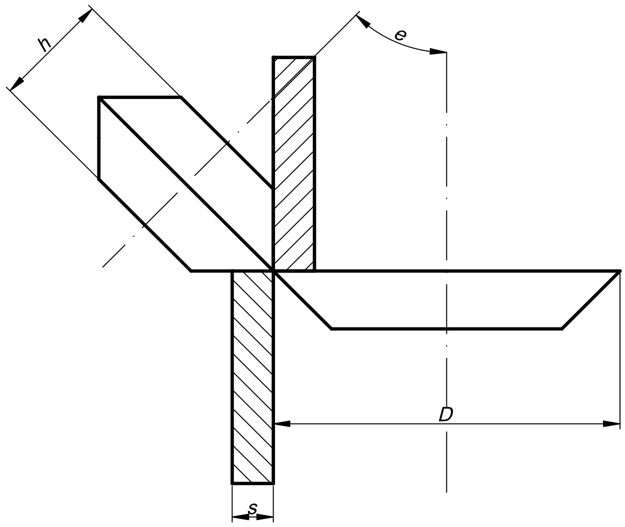
$h_l = 18{,}5558$ – razvijena dužina luka

Usvaja se: Δh = 10mm

Obrezivanje se vrši pomoću makaza sa kružnim noževima i paralelnim osama.

Tabela 15. Podaci za kružne noževe sa horizontalnom gornjom i nagnutom donjom osom.

Osnovne dimenzije sa s<3 mm		
Prečnik noževa [mm]	D = 28 · s = 28 · 2	56
Širina noževa [mm]	h = (10 ÷ 15) · s = 10 · 2	20
Ugao nagiba osovina (ε)	40°	40°



Slika 21. Kružni noževi sa horizontalnom donjom i nagnutom gornjom osom noža.

1.4.7. Operacija VI

Operacija VI sa sastoji od pravljenja vijenca posude koji je definiran konstruktivnim crtežom i površinski kalibriranjem radi postizanja traženog oblika i dimenzija gotovog komada.

1.4.7.1 Proračun radijusa vijenca

Proces pravljenja vijenca primjenjuje se za zavijanje krajeva šupljih posuda izrađenih tehnologijom dubokog izvlačenja. Da bi se kvalitetno izvršio proces obrubljivanja potrebno je provjeriti da li se radijus obrubljivanja posude nalazi u granicama:

$$r_{min} < r < r_{max}.$$

Minimalni radijus obrubljivanja je: $r_{min} = c \cdot s = 0,5 \cdot 2 = 1$ [mm]

s = 2 [mm] – debljina lima
c = 0,5 – faktor koji zavisi od vrste materijala [1]

Maksimalni radijus obrubljivanja je:

$$r_{max} = \frac{s \cdot E}{2 \cdot \sigma_v} = \frac{2 \cdot 2,15 \cdot 10^5}{2 \cdot 300} = 716,6 \ [mm]$$

$E = 2,15 \cdot 10^5$ [MPa] – modul elastičnosti
$\sigma_v = 300$ [MPa] – granica plastičnosti

Na osnovu ovoga je $r_{min} = 1$ [mm] < r = 5 [mm] < $r_{max} = 716{,}6$ [mm] što znači da se radijus vijenca nalazi u potrebnim granicama, tj. pošto je veći od minimalnog prečnika neće doći do kidanja komada, a pošto je manji od maksimalnog prečnika sigurno je da će i u najudaljenijim vlaknima doći do trajnih plastičnih deformacija.

1.5. Analiza sila i deformacijonog rada dubokog izvlačenja po poeracijama

Sile i deformacioni rad su najvažniji faktori prilikom određivanja mašina za plastično deformisanje. Kod tehnoloških operacija sa rotacionim kretanjem radnih organa mašine potrebno je poznavati i obrtni moment. Takođe, deformaciona sila ima veliki značaj i prilikom proračuna svih elemenata alata. Zbog toga je potrebno za svaku operaciju izrade komada izvršiti proračun sile i deformacionog rada.

1.5.1. Operacija I

Operacija I se sastoji od dvije faze: prosijecanja platine i prve faze izvlačenja.

Sila prosijecanja se računa po izrazu:

$$F = D \cdot \pi \cdot s \cdot \tau_m$$

$D = 156$ [mm] – prečnik platine
$s = 2$ [mm] – debljina lima
$\tau_m = 300$ [MPa] – čvrstoća smicanja

Na osnovu ovoga sila prosijecanja je:

$$F_p = D \cdot \pi \cdot s \cdot \tau_m = 156 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 300 = 293904 \text{ [N]}$$

Deformacioni rad prosijecanja se računa po izrazu:

$$W = x \cdot \frac{F \cdot s}{1000}$$

$x = 0{,}6$ - faktor koji pokazuje odnos srednje (F_{sr}) i maksimalne (F_m) sile

Deformacioni rad prosjecanja je:

$$W_p = x \cdot \frac{F \cdot s}{1000} = 0{,}6 \cdot \frac{293904 \cdot 2}{1000} = 352{,}6848 \text{ [J]}$$

Najveća sila prve operacije izvlačenja izračunava se po obrascu:

$$F_1 = A_1 \cdot \sigma_1 = \pi \cdot d_{s1} \cdot s \cdot \sigma_1$$

σ_1 – radni napon izvlačenja koji se izračunava po obrascu:

$$\sigma_1 = e^{\mu \cdot \frac{\pi}{2}} \cdot \left(1{,}1 \cdot k_{sr} \cdot \ln \frac{D}{d_{s1}} + \frac{2 \cdot \mu \cdot F_{d1}}{\pi \cdot d_{s1} \cdot s} \right) + k_{sr} \cdot \frac{s}{2 \cdot r_M + s} \ (\mathrm{N/mm^2})$$

gdje je:

μ - koeficijent kontaktnog trenja između materijal i alata, ako se koristi ulje $\mu = 0{,}15$

D = 156 mm – prečnik platine

d_{s1} = 80 mm – srednji prečnik posude nakon I operacije izvlačenja

F_{d1} = 12301 N – sila držanja lima u I operacije izvlačenja

r_M = 10 mm – radijus prstena za izvlačenje

s = 2 mm – debljina lima

k_{sr} - srednji specifični deformacioni otpor

$$k_{sr} = \frac{k_0 + k_1}{2}$$

gdje je:

$k_0 = k(\varepsilon_0)$ za $\varepsilon = 0 \Rightarrow k_0 = 200$ (N/mm^2)

$k_1 = k(\varepsilon_1)$ za $\varepsilon = 1 - m_1 = 0{,}5 \Rightarrow k_1 = 580$ (N/mm^2)

$$k_{sr} = \frac{k_0 + k_1}{2} = \frac{200 + 580}{2} = 390 \ (\mathrm{N/mm^2})$$

Radni napon izvlačenja prve operacije izvlačenja:

$$\sigma_1 = e^{0{,}15 \cdot \frac{\pi}{2}} \cdot \left(1{,}1 \cdot 390 \cdot \ln \frac{156}{80} + \frac{2 \cdot 0{,}15 \cdot 12301}{\pi \cdot 80 \cdot 2} \right) + 390 \cdot \frac{2}{2 \cdot 10 + 2} = 400{,}92 \ (\mathrm{N/mm^2})$$

Najveća sila prve operacije izvlačenja je:

$$F_1 = A_1 \cdot \sigma_1 = \pi \cdot d_{s1} \cdot s \cdot \sigma_1 = \pi \cdot 80 \cdot 2 \cdot 400{,}92 = 201422{,}2 \ (\mathrm{N})$$

Deformacioni rad prve faze izvlačenja računa se po obrascu:

$$W = x \cdot \frac{F \cdot h}{1000}$$

h = 63 [mm] – visina prve faze izvlačenja
x = 0,8 – faktor koji pokazuje odnos srednje (F_{sr}) i maksimalne (F_m) sile

Deformacioni rad prve faze izvlačenja je:

$$W_i = x \cdot \frac{F_1 \cdot h_1}{1000} = 0{,}8 \cdot \frac{201422{,}2 \cdot 63}{1000} = 1051{,}678 \ [\mathrm{J}]$$

1.5.2. Operacija II

U drugoj operaciji izvlačenja vrši se izvlačenje cilindra sa prečnika ϕ 78 (mm) na ϕ 66 (mm) uz istovremeno izvlačenje konusa sa prečnika dna ϕ 58 (mm) – visine h_1 = 10 (mm) na ϕ 45,24 (mm) – visine h_2 = 29 (mm).

Pri proračunu stepena deformacije i radnih napona možemo unutar operacije odvojeno posmatrati izvlačenje cilindra i izvlačenje konusa.

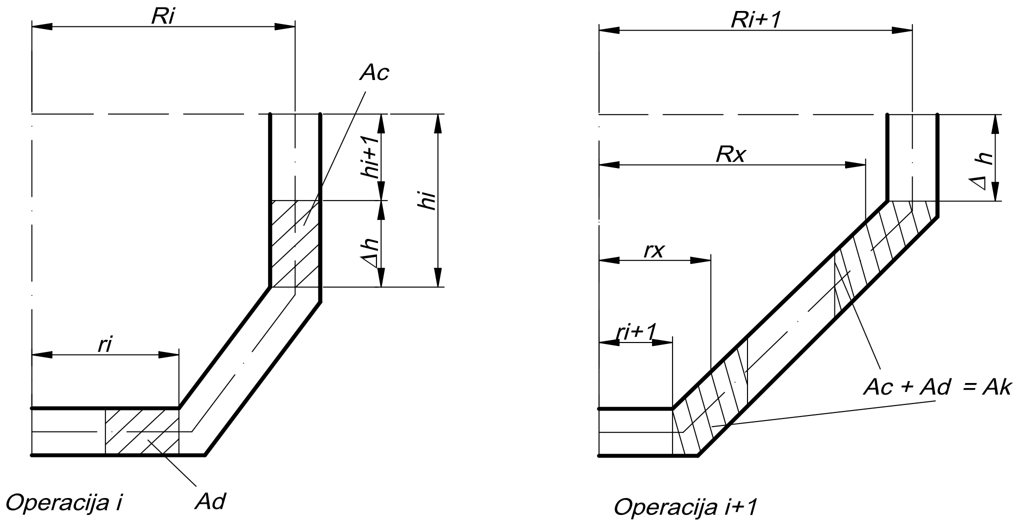
1.5.2.1 Izvlačenje konusne površine

Za razliku od izvlačenja cilindričnih komada, gdje se pri redukciji prečnika cilindrične površine sa većeg na manji prečnik (potpuna deformacija čitave površine), kod izvlačenja konusne površine, metodom paralelnih konusa imamo određene zone površine koje trpe različite stepene deformacije, a samim tim imaju i različit specifični deformacioni otpor tj. zone deformacije sa različitim očvršćavanjem.

Radi izračunavanja radnih napona izvlačenja potrebno je izvršiti analizu deformacije i izračunavanje stvarnih deformacija po operacijama kao i ukupne maksimalne deformacije materijala. Na slici 22. prikazane su parcijalne površine cilindra A_c, površine dna A_d i konusne površine A_k.

Površina konusa A_k izvučena u prikazanoj operaciji nastaje od parcijalne površine cilindra A_c i parcijalne površine dna A_d .

$A_k = A_c + A_d$

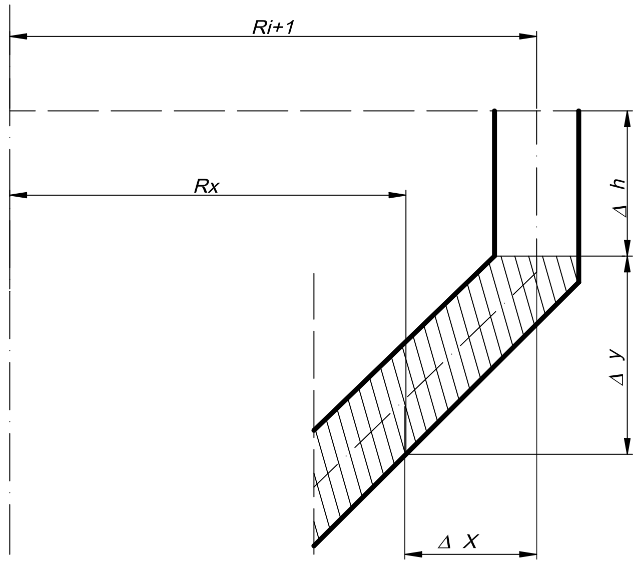


Slika 22. Prikaz nastanka konusne površine od parcijalnih površine cilindra i dna posude.

Rx – varijabilni poluprečnik vanjske ivice konusa
rx - varijabilni poluprečnik unutrašnje ivice konusa

$\Delta h = h_i - h_{i+1}$ – smanjenje visine cilindra na račun izvlačenja konusa

Površina cilindra koji prelazi u konus se može izračunati na osnovu prečnika cilindra i visine Δh.
Vrijednost varijabilnog poluprečnik Rx se može izračunati na osnovu jednakosti površine cilindra, visine Δh i površine konusnog prstena.



Slika 23.

$A_c = A_k$
$A_c = 2 \cdot R \cdot \pi \cdot \Delta h$ (mm^2)

$A_k = \Delta l \cdot \pi \cdot 2 \cdot \frac{R + R_x}{2} = \Delta l \cdot \pi \cdot (R + R_x)$ (mm^2)

$\Delta l = \frac{\Delta X}{\sin\alpha} = \frac{R - R_x}{\sin\alpha}$ (mm)

$2 \cdot R \cdot \pi \cdot \Delta h = \frac{R - R_x}{\sin\alpha} \cdot \pi \cdot (R + R_x)$

Nakon sređivanja se dobije izraz za poluprečnik R_x:

$R_x = \sqrt{R^2 - 2 \cdot R \cdot \Delta h \cdot \sin\alpha}$ (mm)

Vanjska ivica je pri ovom izvlačenju pretrpjela deformaciju:

$\varepsilon_R = \frac{R - R_x}{R} = 1 - \frac{R_x}{R} = 1 - \frac{D_x}{D}$

R_x je granica I zone deformacije, a ε_R je stepen deformacije na toj granici. Pri izračunavanju radnog napona za izvlačenje ovog dijela konusa treba računati sa srednjim specifičnim deformacionim otporom.

Kod izvlačenja drugog dijela konusa iz površine dna A_d treba također odrediti granicu zone deformacije. Na osnovu jednakosti površina stepen unutrašnje ivice konusa određujemo imajući u vidu da materijal dna nije teoretski pretrpio raniju deformaciju, odnosno nije bilo prethodnog očvršćavanja materijala.

Unutrašnja ivica je pretrpjela deformaciju:

$$\varepsilon_R = \frac{r - r_x}{r} = 1 - \frac{r_x}{r} = 1 - \frac{d_x}{d}$$

Pri izračunavanju radnog napona treba koristiti srednji specifični deformacioni otpor:

Kod i narednih operacija izvlačenja između ove dvije zone deformacije nalazi se zona u kojoj se vrši izvlačenje konusa iz konusa sa većim prečnicima. U ovoj zoni deformacije imamo izvlačenje materijala koji je već pretrpio znatnu deformaciju i očvršćavanje. Unutar ove zone nalazi se varijabilni poluprečnik koji je granica maksimalne deformacije materijala.

Vrijednosti radnog napona u nekom trenutku izvlačenja dana je u funkciji promjenjivog poluprečnika R_x :

$$\sigma = 1{,}1 \cdot k \cdot \left(1 + \frac{tg\alpha}{\mu}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{R_x}{R}\right)^{\frac{\mu}{tg\alpha}}\right] \quad (\text{N/mm}^2)$$

Uzimajući u obzir druge faktore koji utječu na radni napon dobijamo konačni obrazac za izračunavanje radnog napona za daljnje izvlačenje konusa:

$$\sigma = 1{,}1 \cdot e^{\mu\alpha} \cdot C_s \cdot C_d \cdot k \cdot \left(1 + \frac{tg\alpha}{\mu}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{D_x}{D}\right)^{\frac{\mu}{tg\alpha}}\right] \quad (\text{N/mm}^2)$$

gdje je:

$C_t = e^{\mu\alpha} = 1 + \dfrac{\mu \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ}$ - koeficijent koji uzima u obzir trenje između površine lima i zaobljene površine prstena za izvlačenje

$\mu = 0{,}15$ – koeficijent trenja

α - ugao konusa

$C_s = 1{,}1 \div 1{,}2$ – koeficijent koji uzima u obzir savijanje materijala preko ivica prstena za izvlačenje

$C_d = 1{,}1 \div 1{,}2$ – koeficijent koji uzima u obzir trenje između lima i držača lima

Sila izvlačenja se određuje kao proizvod radnog napona površine poprečnog presjeka komada date operacije izvlačenja:

$$F = A \cdot \sigma = \pi \cdot d_s \cdot s \cdot \sigma \ (\text{N})$$

Za proračun deformacionog rada koristi se obrazac:

$$W = x \cdot F \cdot h = \frac{x \cdot F \cdot h}{1000} \text{ (Nm)}$$

h (mm) – hod izvlakača u procesu izvlačenja
x (mm) – faktor koji zavisi od odnosa izvlačenja

Izvlačenje konusne površine

$$l = \frac{d_{s3} - d_{s4}}{2 \cdot \sin\alpha} = \frac{68 - 47,24}{2 \cdot \sin 19,7^\circ} = 30,8 \text{ mm}$$ – dužina konusne ivice

d_{s3} = 68 mm – srednji prečnik nakon II operacije izvlačenja
d_{s4} = 47,24 mm – srednji prečnik dna nakon II operacije izvlačenja

Površina konusa:

$$A_k = l \cdot \pi \cdot \frac{d_{s3} + d_{s4}}{2} = 30,8 \cdot \pi \cdot \frac{68 + 47,24}{2} = 5572,5454 \text{ mm}^2$$

Površina konusa nastaje iz:

– površine dna prstena:

$$A_d = \frac{\pi}{4} \cdot \left(d_{s3}^2 - d_{s4}^2\right) = \frac{\pi}{4} \cdot \left(68^2 - 47,24^2\right) = 1878,02 \text{ mm}^2$$

– cilindra površine:

$$A_c = A_c - A_d = 5572,5454 - 1878,02 = 3694,5254 \text{ mm}^2$$

Kraj zone deformacije:

$$R_x = \sqrt{R_2^2 - \frac{A_c \cdot \sin\alpha}{\pi}} = \sqrt{34^2 - \frac{3694,5254 \cdot \sin 19,7\text{ o}}{\pi}} = 27,556 \text{ mm}$$

D_x = 55,112 mm

– stvarni stepen deformacije:

$$\varepsilon_2 = = 1 - \frac{D_x}{D} = 1 - \frac{55,112}{156} = 0,6467 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

k_{sr} - srednji specifični deformacioni otpor

$$k_{sr} = \frac{k_1 + k_2}{2}$$

gdje je:

$k_1 = k(\varepsilon_1)$ za $\varepsilon_1 = 1 - m_1 = 0,5 \Rightarrow k_1 = 580$ (N/mm^2)

$k_2 = k(\varepsilon_2)$ za $\varepsilon_2 = 0,6467 \Rightarrow k_1 = 570$ (N/mm^2)

$$k_{sr} = \frac{k_0 + k_1}{2} = \frac{580 + 570}{2} = 575 \ \text{(N/mm}^2\text{)}$$

– radni napon izvlačenja konusa:

$$\sigma = 1,1 \cdot e^{\mu\alpha} \cdot C_s \cdot C_d \cdot k \cdot \left(1 + \frac{tg\alpha}{\mu}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{D_x}{D}\right)^{\frac{\mu}{tg\alpha}}\right] \quad \text{(N/mm}^2\text{)}$$

gdje je:

$C_t = e^{\mu\alpha} = 1 + \dfrac{\mu \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ} = 1 + \dfrac{0,15 \cdot \pi \cdot 19,7^\circ}{180^\circ} = 1,052$ - koeficijent koji uzima u obzir trenje između površine lima i zaobljene površine prstena za izvlačenje

$\mu = 0,15$ – koeficijent trenja

$\alpha = 19,7°$ - ugao konusa

$C_s = 1,2$ – koeficijent koji uzima u obzir savijanje materijala preko ivica prstena za izvlačenje

$C_d = 1,2$ – koeficijent koji uzima u obzir trenje između lima i držača lima

$$\sigma = 1,1 \cdot 1,052 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 575 \cdot \left(1 + \frac{tg19,7^\circ}{0,15}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{55,112}{68}\right)^{\frac{0,15}{tg19,7^\circ}}\right] \quad \text{(N/mm}^2\text{)}$$

$\sigma_{kII} = 273,5255$ N/mm^2

1.5.2.2. Izvlačenje cilindrične površine

– stepen deformacije:

$\varepsilon_1 = 1 - m_1 = 0,5 \Rightarrow k_1 = 580$ (N/mm^2)

$\varepsilon_2 = 1 - m_2 = 1 - \dfrac{66}{156} = 0,5769 \Rightarrow k_1 = 588$ (N/mm^2)

k_{sr} - srednji specifični deformacioni otpor

$$k_{sr} = \frac{k_1 + k_2}{2}$$

gdje je:

$k_1 = k(\varepsilon_1)$ za $\varepsilon_1 = 1 - m_1 = 0{,}5 \Rightarrow k_1 = 580$ (N/mm^2)

$k_2 = k(\varepsilon_2)$ za $\varepsilon_2 = 0{,}5769 \Rightarrow k_1 = 588$ (N/mm^2)

$$k_{sr} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{580 + 588}{2} = 584 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

– radni napon izvlačenja cilindra:

$$\sigma = 1{,}1 \cdot e^{\mu\alpha} \cdot C_s \cdot C_d \cdot k \cdot \left(1 + \frac{tg\alpha}{\mu}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{d_{s3}}{d_{s1}}\right)^{\frac{\mu}{tg\alpha}}\right] \quad \text{(N/mm}^2\text{)}$$

gdje je:

$C_t = e^{\mu\alpha} = 1 + \dfrac{\mu \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ} = 1 + \dfrac{0{,}15 \cdot \pi \cdot 19{,}7^\circ}{180^\circ} = 1{,}052$ - koeficijent koji uzima u obzir trenje između površine lima i zaobljene površine prstena za izvlačenje

$\mu = 0{,}15$ – koeficijent trenja

$\alpha = 19{,}7°$ - ugao konusa

$C_s = 1{,}2$ – koeficijent koji uzima u obzir savijanje materijala preko ivica prstena za izvlačenje

$C_d = 1{,}2$ – koeficijent koji uzima u obzir trenje između lima i držača lima

$d_1 = 80$ mm – srednji prečnik nakon I operacije izvlačenja

$d_3 = 68$ mm – srednji prečnik nakon II operacije izvlačenja

$$\sigma = 1{,}1 \cdot 1{,}052 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}2 \cdot 584 \cdot \left(1 + \frac{tg19{,}7^\circ}{0{,}15}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{68}{80}\right)^{\frac{0{,}15}{tg19{,}7^\circ}}\right] \quad \text{(N/mm}^2\text{)}$$

$\sigma_{cII} = 217{,}89125$ N/mm^2

Ukupni radni napon II operacije izvlačenja:

$\sigma_{II} = \sigma_{kII} + \sigma_{cII} = 273{,}5255 + 217{,}89125 = 491{,}4167$ (N/mm^2)

Sila druge operacije izvlačenja:

$F = A \cdot \sigma = \pi \cdot d_{s3} \cdot s \cdot \sigma = \pi \cdot 68 \cdot 2 \cdot 491{,}4167 = 209854{,}5876$ (N)

Za proračun deformacionog rada koristi se obrazac:

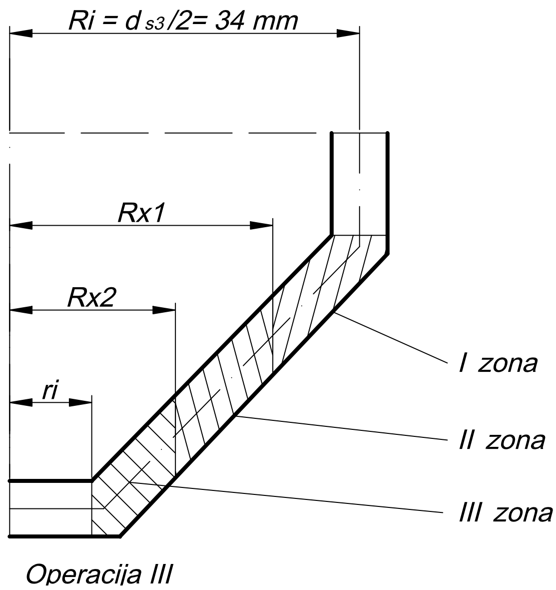
$$W = x \cdot F \cdot h = \frac{0{,}67 \cdot 209854{,}5876 \cdot 89}{1000} = 12527{,}689 \text{ (Nm)}$$

h = 89 (mm) – hod izvlakača u procesu izvlačenja (visina posude)
x = 0,67(mm) – faktor koji zavisi od odnosa izvlačenja

1.5.3. Operacija III

U trećoj operaciji izvlačenja vrši se izvlačenje konusa sa prečnika dna ϕ 45,24 (mm) – visine h_2 = 29 (mm) na ϕ 36 (mm) – visine h_3 = 42 (mm) tj. nastavlja se izvlačenje konusne površine iz dna i dijela cilindrične površine.

Izvlačenje u III operaciji se može predstaviti kao izvlačenje stepenica (slika 24.) sa visinama h = 0, pri čemu prečnici stepenica odgovaraju granicama deformacija.



Slika 24.

I zona deformacije – izvlačenje konusne površine iz dijela cilindrične površine ϕ 66 (mm) visine Δh. Visinu Δh izračunavamo na osnovu površine konusa koji se izvlači u datoj operaciji, odnosno ako razliku visina cilindričnih površina prethodne i date operacije.

$\Delta h = h_{cII} - h_{cIII} = 57{,}98 - 52{,}35 = 5{,}63$ mm

Vrijednost varijabilnog poluprečnik R_{x1} se može izračunati na osnovu formule:

$$R_x = \sqrt{R^2 - 2 \cdot R \cdot \Delta h \cdot \sin\alpha} \text{ (mm)}$$

$$R_{x1} = \sqrt{{R_{s3}}^2 - 2 \cdot R_{s3} \cdot \Delta h \cdot \sin\alpha} = \sqrt{34^2 - 2 \cdot 34 \cdot 5{,}63 \cdot \sin 19{,}653^\circ} = 32{,}0506 \text{ (mm)}$$

D_{x1} = 64,1 (mm)

– radni napon izvlačenja konusa za I zonu deformacije:

$$\sigma = 1{,}1 \cdot e^{\mu\alpha} \cdot C_s \cdot C_d \cdot k \cdot \left(1 + \frac{tg\alpha}{\mu}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{D_{x1}}{d_{s3}}\right)^{\frac{\mu}{tg\alpha}}\right] \quad (\text{N/mm}^2)$$

gdje je:

$C_t = e^{\mu\alpha} = 1 + \dfrac{\mu \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ} = 1 + \dfrac{0{,}15 \cdot \pi \cdot 19{,}7^\circ}{180^\circ}$ =1,052 - koeficijent koji uzima u obzir trenje između površine lima i zaobljene površine prstena za izvlačenje

μ = 0,15 – koeficijent trenja

α = 19,653° - ugao konusa

C_s = 1,2 – koeficijent koji uzima u obzir savijanje materijala preko ivica prstena za izvlačenje

C_d =1,2 – koeficijent koji uzima u obzir trenje između lima i držača lima

k_{sr} = 584 (N/mm^2)

$$\sigma_{31} = 1{,}1 \cdot 1{,}052 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}2 \cdot 575 \cdot \left(1 + \frac{tg19{,}653^\circ}{0{,}15}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{64{,}1}{68}\right)^{\frac{0{,}15}{tg19{,}653^\circ}}\right] \quad (\text{N/mm}^2)$$

σ_{31} = 77,495 (N/mm^2)

II zona deformacije – deformacija već izvučene konusne površine:

Vrijednost varijabilnog poluprečnik R_{x1} se može izračunati na osnovu formule:

$R_{21} = \sqrt{R_{x1}^{\,2} - 2 \cdot R_{x1} \cdot \Delta h \cdot \sin\alpha} = \sqrt{32{,}0506^2 - 2 \cdot 32{,}0506 \cdot 5{,}63 \cdot \sin 19{,}653^\circ}$ = 30,1 (mm)

D_{x2} = 60,2 (mm)

– stvarni stepen deformacije u III operaciji izvlačenja za II zonu:

$\varepsilon_3 = = 1 - \dfrac{D_{x2}}{D} = 1 - \dfrac{60{,}2}{156}$ = 0,614 (N/mm^2)

k_{sr} - srednji specifični deformacioni otpor

$$k_{sr} = \frac{k_2 + k_3}{2}$$

gdje je:

$k_2 = k(\varepsilon_2)$ za $\varepsilon_2 = 0{,}6467 \Rightarrow k_1 = 570$ (N/mm^2)

$k_3 = k(\varepsilon_3)$ za $\varepsilon_3 = 0{,}614 \Rightarrow k_3 = 576$ (N/mm^2)

$$k_{sr} = \frac{k_2 + k_3}{2} = \frac{570 + 576}{2} = 573 \ (\text{N/mm}^2)$$

– radni napon izvlačenja konusa za II zonu deformacije:

$$\sigma = 1{,}1 \cdot e^{\mu\alpha} \cdot C_s \cdot C_d \cdot k \cdot \left(1 + \frac{tg\alpha}{\mu}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{D_{x2}}{D_{x1}}\right)^{\frac{\mu}{tg\alpha}}\right] \quad (\text{N/mm}^2)$$

gdje je:

$C_t = 1{,}052$
$\mu = 0{,}15$ – koeficijent trenja
$\alpha = 19{,}653°$ - ugao konusa
$C_s = 1$
$C_d = 1{,}2$
$k_{sr} = 573$ (N/mm^2)

$$\sigma_{32} = 1{,}1 \cdot 1{,}052 \cdot 1 \cdot 1{,}2 \cdot 573 \cdot \left(1 + \frac{tg19{,}653^o}{0{,}15}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{60{,}2}{64{,}1}\right)^{\frac{0{,}15}{tg19{,}653^o}}\right] \quad (\text{N/mm}^2)$$

$\sigma_{32} = 59{,}634$ (N/mm^2)

III zona deformacije – izvlačenje konusne površine iz dijela površine dna:

– deformacija unutrašnje ivice konusa:

$$\varepsilon_r = 1 - \frac{d_{s5}}{d_{s4}} = 1 - \frac{38}{45{,}24} = 0{,}16$$

Za $\varepsilon_r = 0{,}16$ $k_{s3} = 400$ (N/mm^2)

$$k_{sr} = \frac{k_0 + k_{s3}}{2} = \frac{200 + 400}{2} = 300 \ (\text{N/mm}^2)$$

– radni napon izvlačenja konusa za III zonu deformacije:

$$\sigma = 1{,}1 \cdot e^{\mu\alpha} \cdot C_s \cdot C_d \cdot k \cdot \left(1 + \frac{tg\alpha}{\mu}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{d_{x5}}{d_{x3}}\right)^{\frac{\mu}{tg\alpha}}\right] \quad (\text{N/mm}^2)$$

gdje je:

$C_t = 1{,}052$
$\mu = 0{,}15$ – koeficijent trenja
$\alpha = 19{,}653°$ - ugao konusa
$C_s = 1$
$C_d = 1{,}2$
$k_{sr} = 300$ (N/mm^2)

$$\sigma_{33} = 1{,}1 \cdot 1{,}052 \cdot 1 \quad \cdot 1{,}2 \quad \cdot 573 \cdot \left(1 + \frac{tg19{,}653^{\circ}}{0{,}15}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{38}{47{,}24}\right)^{\frac{0{,}15}{tg19{,}653^{\circ}}}\right] \quad (N/mm^2)$$

σ_{33} = 105,332 (N/mm^2)

Ukupni radni napon III operacije izvlačenja:

$\sigma_3 = \sigma_{31} + \sigma_{32} + \sigma_{33}$ = 77,495 + 59,634 + 105,332 = 242,461 (N/mm^2)

Sila izvlačenja za III operaciju:

$F = A \cdot \sigma = \pi \cdot d_{s3} \cdot s \cdot \sigma_3 = \pi \cdot 68 \cdot 2 \cdot 242{,}461$ = 103540,5454 (N)

Za proračun deformacionog rada koristi se obrazac:

$$W = x \cdot F \cdot h = \frac{0{,}67 \cdot 103540{,}5454 \cdot 42}{1000} = 2913{,}631 \text{ (Nm)}$$

h = 42 (mm) – hod izvlakača u procesu izvlačenja (visina konusa koji se izvlači u III operaciji)
x = 0,67(mm) – faktor koji zavisi od odnosa izvlačenja

1.5.4. Operacija IV

U četvrtoj operaciji izvlačenja vrši se izvlačenje preostalog dijela konusa i sferne površine:

A_s – Površina sfernog dijela
$A_s = 2 \cdot R \cdot h_s \cdot \pi$
$h_s = R \cdot (1 - \sin\varphi) = 18 \cdot (1 - \sin 19{,}653^{\circ}) = 11{,}9462$ mm
$A_s = 2 \cdot 18 \cdot 11{,}9462 \cdot \pi = 1350{,}4$ mm^2

A_k - površina konusnog dijela:

$$A_k = h_k \cdot \pi \cdot \frac{d_{s5} + dr}{2}$$

gdje je:

d_{s5} = 38 mm srednji prečnik
$d_r = 2 \cdot R = 2 \cdot 18 = 36$ mm prečnik kugle
h_k = 4,47 mm – dužina izvlačenja preostalog dijela konusa

$$A_k = h_k \cdot \pi \cdot \frac{d_{s5} + dr}{2} = 4{,}47 \cdot \pi \cdot \frac{38 + 36}{2} = 519{,}246 \text{ mm}^2$$

$A = A_s + A_k = 1350{,}4 + 519{,}246 = 1869{,}7246$ mm^2

Izvlačenje ove površine se vrši iz dna prečnika ϕ36 (mm) i površine A_d = 1017,36 (mm^2) i cilindrične površine A_c:

$A_c = A - A_d = 1869{,}7246 - 1017{,}36 = 852{,}3646$ mm^2

$$h = \frac{A_c}{d_{s3}\cdot\pi} = \frac{852{,}3646}{68\cdot\pi} = 3{,}99 \approx 4\text{mm}$$

h = 4 mm – visina cilindra koja je upotrebljena za izvlačenje dijela konusa i sfere.

I zone deformacije – izvlačenje dijela konusa iz cilindrične površine:

Vrijednost varijabilnog poluprečnik R_{x1} se može izračunati na osnovu formule:

$$R_{x1} = \sqrt{R_{s3}^{\ 2} - 2\cdot R_{s3}\cdot\Delta h\cdot\sin\alpha} = \sqrt{34^2 - 2\cdot 34\cdot 4\cdot\sin 19{,}653^\circ} = 32{,}627 \text{ (mm)}$$

$D_{x1} = 65{,}254$ (mm)

– stvarni stepen deformacije:

$$\varepsilon_{r1} = \, = 1 - \frac{D_{x1}}{D} = 1 - \frac{65{,}254}{156} = 0{,}5817 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

k_{sr} - srednji specifični deformacioni otpor

$$k_{sr} = \frac{k_{41} + k_3}{2}$$

gdje je:

$k_{41} = k(\varepsilon_{r1})$ za $\varepsilon_{r1} = 0{,}5817 \Rightarrow k_{41} = 588$ (N/mm^2)

$k_3 = k(\varepsilon_3)$ za $\varepsilon_3 = 0{,}614 \Rightarrow k_3 = 576$ (N/mm^2)

$$k_{sr} = \frac{k_{41} + k_3}{2} = \frac{588 + 576}{2} = 582 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

– radni napon izvlačenja konusa:

$$\sigma = 1{,}1\cdot e^{\mu\alpha}\cdot C_s\cdot C_d\cdot k\cdot\left(1 + \frac{tg\alpha}{\mu}\right)\cdot\left[1 - \left(\frac{D_{x1}}{d_{s3}}\right)^{\frac{\mu}{tg\alpha}}\right] \quad \text{(N/mm}^2\text{)}$$

gdje je:

$C_t = 1{,}052$ -
$\mu = 0{,}15$ – koeficijent trenja
$\alpha = 19{,}653°$ - ugao konusa
$C_s = 1{,}2$
$C_d = 1{,}2$

$$\sigma_{41} = 1{,}1 \cdot 1{,}052 \cdot 1{,}2 \quad \cdot 1{,}2 \quad \cdot 582 \cdot \left(1 + \frac{tg19{,}653^o}{0{,}15}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{65{,}254}{68}\right)^{\frac{0{,}15}{tg19{,}653^o}}\right] \quad (\text{N/mm}^2)$$

σ_{41} = 47,9122 N/mm^2

II zone deformacije – izvlačenje dijela konusa iz cilindrične površine:

Vrijednost varijabilnog polupečnik R_{x1} se može izračunati na osnovu formule:

R_{x2} = $\sqrt{R_{x1}^{\ 2} - 2 \cdot R_{x1} \cdot \Delta h \cdot \sin\alpha}$ = $\sqrt{32{,}627^2 - 2 \cdot 32{,}627 \cdot 4 \cdot \sin 19{,}653^o}$ = 31,2527 (mm)
D_{x2} = 62,5 (mm)

– stvarni stepen deformacije:

$\varepsilon_{r2} = = 1 - \frac{D_{x2}}{D} = 1 - \frac{62{,}5}{156}$ = 0,6 (N/mm^2)

k_{sr} - srednji specifični deformacioni otpor

$$k_{sr} = \frac{k_{42} + k_3}{2}$$

gdje je:

$k_{42} = k(\varepsilon_{r2})$ za $\varepsilon_{r2} = 0{,}6 \Rightarrow k_{42} = 578$ (N/mm^2)

$k_3 = k(\varepsilon_3)$ za $\varepsilon_3 = 0{,}614 \Rightarrow k_3 = 576$ (N/mm^2)

$$k_{sr} = \frac{k_{42} + k_3}{2} = \frac{578 + 576}{2} = 577 \quad (\text{N/mm}^2)$$

– radni napon izvlačenja konusa:

$$\sigma = 1{,}1 \cdot e^{\mu\alpha} \cdot C_s \cdot C_d \cdot k \cdot \left(1 + \frac{tg\alpha}{\mu}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{D_{x2}}{D_{x1}}\right)^{\frac{\mu}{tg\alpha}}\right] \quad (\text{N/mm}^2)$$

gdje je:

C_t = 1,052
μ = 0,15 – koeficijent trenja
α = 19,653° - ugao konusa
C_s = 1,2
C_d =1,2

$$\sigma_{42} = 1{,}1 \cdot 1{,}052 \cdot 1{,}2 \quad \cdot 1{,}2 \quad \cdot 582 \cdot \left(1 + \frac{tg19{,}653^o}{0{,}15}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{62{,}3}{65{,}254}\right)^{\frac{0{,}15}{tg19{,}653^o}}\right] \quad (\text{N/mm}^2)$$

σ_{42} = 53,8 N/mm^2

III zona deformacije – izvlačenje sferne površine iz dna:

– stvarni stepen deformacije:

$$\varepsilon_{r3} = \; = 1 - \frac{d_{u5}}{D_{x2}} = 1 - \frac{32}{62,5} = 0,488 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

k_{sr} - srednji specifični deformacioni otpor

$$k_{sr} = \frac{k_{42} + k_0}{2}$$

gdje je:

$k_{43} = k(\varepsilon_{r3})$ za $\varepsilon_{r3} = 0,488 \Rightarrow k_{42} = 550$ (N/mm^2)

$k_0 = k(\varepsilon_0)$ za $\varepsilon = 0 \Rightarrow k_0 = 200$ (N/mm^2)

$$k_{sr} = \frac{k_{42} + k_0}{2} = \frac{550 + 200}{2} = 375 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

– radni napon izvlačenja sfere:

$$\sigma = 1,1 \cdot e^{\mu\alpha} \cdot C_s \cdot C_d \cdot k \cdot \left(1 + \frac{tg\alpha}{\mu}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{d_{u5}}{D_{x2}}\right)^{\frac{\mu}{tg\alpha}}\right] \quad \text{(N/mm}^2\text{)}$$

gdje je:

$C_t = 1,052$
$\mu = 0,15$ – koeficijent trenja
$\alpha = 19,653°$ - ugao konusa
$C_s = 1,2$
$C_d = 1,2$

$$\sigma_{43} = 1,1 \cdot 1,052 \cdot 1,2 \;\; \cdot 1,2 \;\; \cdot 275 \cdot \left(1 + \frac{tg19,653°}{0,15}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{32}{62,5}\right)^{\frac{0,15}{tg19,653°}}\right] \quad \text{(N/mm}^2\text{)}$$

$\sigma_{43} = 329,43$ N/mm^2

Ukupni radni napon za IV operaciju izvlačenja je:

$\sigma_4 = \sigma_{41} + \sigma_{42} + \sigma_{43} = 47,9122 + 53,8 + 329,43 = 431,1422$ (N/mm^2)

Sila izvlačenja za IV operaciju:

$F = A \cdot \sigma = \pi \cdot d_{s3} \cdot s \cdot \sigma_4 = \pi \cdot 68 \cdot 2 \cdot 431,1422 = 184115$ (N)

Za proračun deformacionog rada koristi se obrazac:

$$W = x \cdot F \cdot h = \frac{0,67 \cdot 184115 \cdot 18}{1000} = 2220,4265 \text{ (Nm)}$$

h = 18 (mm) – hod izvlakača u procesu izvlačenja
x = 0,67(mm) – faktor koji zavisi od odnosa izvlačenja

1.5.5. Operacija V

Operacija IV predstavlja obrezivanje posude.

Sila odsijecanja se računa po obrascu:

$$F = 0,6 \cdot \sigma_m \cdot \varepsilon_{ot} \cdot \frac{s^2}{2 \cdot tg\varphi}$$

σ_m = 380 [MPa] – jačina na kidanje
ε_{0t} = 0,65 – najveća relativna dubina prodiranja noža
s = 2 [mm] – debljina lima
φ ° – ugao zahvata noževa i računa se po izrazu:

$$\varphi = arc\cos\left(1 - \frac{u+s}{D}\right) = arc\cos\left(1 - \frac{0,4+2}{56}\right) = 16,835^o$$

D = 56 [mm] – prečnik noževa
u = 0,4 [mm] – rastojanje reznih ivica noževa
s = 2 [mm] – debljina lima

Na osnovu ovoga sila odsijecanja je:

$$F = 0,6 \cdot \sigma_m \cdot \varepsilon_{ot} \cdot \frac{s^2}{2 \cdot tg\varphi} = 0,6 \cdot 380 \cdot 0,65 \cdot \frac{2^2}{2 \cdot tg\, 16,835^o} = 984,83 \ [\text{N}]$$

Obrtni moment kružnog noža je:

$$M = \frac{F \cdot D}{2} \cdot \sin\varphi = \frac{984,83 \cdot 0,056}{2} \cdot \sin 16,835^o = 7,98624 \ [\text{Nm}]$$

1.5.6. Operacija VI

Operacija VI se sastoji od obrubljivanja.
Sila obrubljivanja računa se po obrascu:

$$F = \frac{M}{r + 0,5 \cdot s}$$

s = 2 [mm] – debljina lima
r = 5 [mm] – radijus obrubljivanja
M [Nmm] – moment savijanja i računa se po izrazu:

$$M = n \cdot \sigma_m \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot s^2}{4} = 1,8 \cdot 380 \cdot \frac{\pi \cdot 66 \cdot 2^2}{4} = 141752,16 \ [\text{Nmm}]$$

n = 1,8 – korekcioni koeficijent očvršćavanja [1]
σ_m = 380 [MPa] – jačina na kidanje
d = 66 [mm] – unutrašnji prečnik komada

Sila obrubljivanja je:

$$F = \frac{M}{r + 0,5 \cdot s} = \frac{141752,16}{6 + 0,5 \cdot 2} = 20250,30857 \ [\text{N}]$$

Deformacioni rad obrubljivanja računa se po formuli:

$$W = \frac{\sigma_m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{s}{2 \cdot r + s} \cdot d \cdot \pi \cdot \left[(r+s)^2 - r^2\right] \cdot \frac{\phi}{2}$$

$\varphi = \pi$ [rad] – ugao savijanja

Na osnovu ovoga deformacioni rad obrubljivanja je:

$$W = \frac{\sigma_m}{1000 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{s}{2 \cdot r + s} \cdot d \cdot \pi \cdot \left[(r+s)^2 - r^2\right] \cdot \frac{\phi}{2} =$$

$$= \frac{380}{1000 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{2}{2 \cdot 5 + 2} \cdot 66 \cdot \pi \cdot \left[(5+2)^2 - 5^2\right] \cdot \frac{\pi}{2} = 285,8714 \ [\text{J}]$$

1.6. Izbor mašina po operacijama izrade

Najčešće korištene mašine u operacijama dubokog izvlačenja i obrubljivanja su krivajne prese (sa ekscentrom ili koljenaste). Za operaciju obrezivanja komada koriste se makaze sa kružnim noževima sa horizontalnom gornjom i nagnutom donjom osom.

Za izbor mašine za određenu operaciju izrade potrebno je ispuniti tri uslova:

- prvi uslov je da maksimalna sila određene operacije (F_m) manja od granične sile pritiskivača prese (F_g). Sila F_g treba da bude za 30% veća od sile F_m zbog eksploatacionih faktora.
- drugi uslov je da deformacioni rad procesa (W) mora da bude manji ili u krajnjem slučaju jednak nominalnom radu prese.

- treći uslov je da ukupni hod prese bude tako određen da se komad može bez poteškoća postavljati i skidati sa alata.

1.6.1. Izbor mašine za operaciju I

Operacija I se sastoji od prosijecanja platine i prve faze dubokog izvlačenja koje se ne odvijaju istovremeno, već se prvo vrši prosijecanje platine, pa se potom vrši prva faza dubokog izvlačenja. Zbog toga se izbor mašine vrši na osnovu faze izrade koja ima veću silu i deformacioni rad, a hod prese se određuju na osnovu visine komada nakon prve faze izvlačenja.

Potreban hod pritiskivača prese je:

$H = 2 \cdot h_1 + 5 = 2 \cdot 63 + 30 = 131$ [mm] Usvaja se $H = 136$ [mm]

$h_1 = 63$ [mm] – visina komada nakon prve faze izvlačenja

Sila prosijecanja platine je: $F_p = 293904$ [N]

Deformacioni rad prosijecanja je: $W_p = 934,464$ [J]

Sila prve faze izvlačenja je:

$$F_i = F_1 + F_d = 201422,2 + 12302,74 = 213724,94 \text{ [N]}$$

Najveća sila prve operacije izvlačenja je:

$F_1 = 201422,2$ [N] – sila izvlačenja lima za operaciju I
$F_d = 12302,74$ [N] – sila držača lima za operaciju I

Deformacioni rad prve faze izvlačenja je: $W_i = 1051,678$ [J]

Pošto je sila prosijecanja veća od sile prve faze izvlačenja ona je mjerodavna za izbor mašine na osnovu kriterija sile. Na osnovu toga granična sila pritiskivača prese je:

$$F_g = 1,3 \cdot F_p = 1,3 \cdot 293904 = 382075,2 \text{ [N]}$$

Nominalna sila prese računa se po izrazu:

$$F_n = \frac{F_g}{\sin \alpha_n} \cdot \sin \alpha$$

$\alpha_n = 75°$ – nominalni ugao kojim se definiše puno iskorištenje mašine

$\alpha°$ – ugao krivaje i računa se po izrazu:

$$\alpha = arc\cos\left(1 - \frac{2 \cdot h_1}{H}\right) = arc\cos\left(1 - \frac{2 \cdot 63}{136}\right) = 85,78°$$

$h_1 = 63$ [mm] – visina komada nakon prve faze izvlačenja
$H = 136$ [mm] – potreban hod pritiskivača prese

Na osnovu ovoga nominalna sila prese je:

$$F_n = \frac{F_g}{\sin \alpha_n} \cdot \sin \alpha = \frac{382075,2}{\sin 75°} \cdot \sin 85,78° = 3944801 \text{ [N]}$$

Usvaja se $F_n = 400$ [kN]

Deformacioni rad prve faze izvlačenja je veći od deformacionog rada prosijecanja, pa je on mjerodavan za izbor mašine po kriteriju deformacionog rada.

Hod pritiskivača prese za nominalni ugao $\alpha_n = 75°$ je:

$$h_n = \frac{H}{2} \cdot (1 - \cos\alpha_n) = \frac{136}{2} \cdot (1 - \cos 75^\circ) = 69 \ [\text{mm}]$$

Usvaja se: $h_n = 70$ [mm]

Nominalni deformacioni rad prese je:

$W_n = F_n \cdot h_n = 400 \cdot 70 = 28000$ [J]

Pošto je $W_n = 28000$ [J] > $W_i = 1051{,}678$ [J] to izabrana presa zadovoljava.

Tehnološke karakteristike prese za operaciju I su:

- nominalna sila prese $F_n = 400$ [kN]
- nominalni deformacioni rad $W_n = 28000$ [J]
- hod pritiskivača prese $H = 136$ [mm]

1.6.2. Izbor mašine za operaciju II

Operacija II predstavlja drugu fazi izvlačenja.

Potreban hod pritiskivača prese je:

$H = 2 \cdot h_2 + 5 = 2 \cdot 90 + 5 = 185$[mm] Usvaja se $H = 185$ [mm]

Sila druge faze izvlačenja je:

$F_i = F + F_d = 209854{,}5876 + 201{,}65 = 210056{,}2376$ [N]

$F_d = 201{,}65$ [N] – sila držača lima za operaciju II

Deformacioni rad druge faze izvlačenja je: $W_i = 12527{,}689$ (Nm)

Granična sila pritiskivača prese je:

$F_g = 1{,}3 \cdot F_i = 1{,}3 \cdot 210056{,}2376 = 273073{,}11$ [N]

Nominalna sila prese računa se po izrazu:

$$F_n = \frac{F_g}{\sin\alpha_n} \cdot \sin\alpha$$

$\alpha_n = 75°$ – nominalni ugao kojim se definiše puno iskorištenje mašine

$\alpha°$ – ugao krivaje i računa se po izrazu:

$$\alpha = arc\cos\left(1 - \frac{2 \cdot h_2}{H}\right) = arc\cos\left(1 - \frac{2 \cdot 90}{185}\right) = 88{,}45^\circ$$

$h_2 = 90$[mm] – visina komada nakon druge faze izvlačenja

$H = 185$ [mm] – potreban hod pritiskivača prese

Na osnovu ovoga nominalna sila prese je:

$$F_n = \frac{F_g}{\sin\alpha_n} \cdot \sin\alpha = \frac{273073{,}11}{\sin 75^\circ} \cdot \sin 88{,}45^\circ = 282602{,}6443 \ [\mathrm{N}]$$

Usvaja se F_n = 250 [kN]

Hod pritiskivača prese za nominalni ugao $\alpha_n = 75°$ je:

$$h_n = \frac{H}{2} \cdot (1 - \cos\alpha_n) = \frac{185}{2} \cdot (1 - \cos 75^\circ) = 68{,}56 \ [\mathrm{mm}]$$

Usvaja se: h_n = 70 [mm]

Nominalni deformacioni rad prese je:

$$W_n = F_n \cdot h_n = 250 \cdot 70 = 17500 \ [\mathrm{J}]$$

Pošto je: W_n = 17500 [J] > W_i = 12527,689 [J] to izabrana presa zadovoljava.

Tehnološke karakteristike prese za operaciju II su:

- nominalna sila prese F_n = 250 [kN]
- nominalni deformacioni rad W_n = 17500 [J]
- hod pritiskivača prese H = 185 [mm]

1.6.3. Izbor mašine za operaciju III

Operacija III predstavlja drugu fazi izvlačenja.

Potreban hod pritiskivača prese je:

$$H = 2 \cdot h_3 + 5 = 2 \cdot 96 + 5 = 197 \ [\mathrm{mm}]$$ Usvaja se H = 200 [mm]

Sila III faze izvlačenja je:

$$F_i = F + F_d = 103540{,}5454 + 47{,}575 = 103588{,}12 \ [\mathrm{N}]$$

F_d = 47,575 [N] – sila držača lima za operaciju III

Deformacioni rad III faze izvlačenja je: W_i = 2913,631 (Nm)

Granična sila pritiskivača prese je:

$$F_g = 1{,}3 \cdot F_i = 1{,}3 \cdot 103588{,}12 = 134664{,}54 \ [\mathrm{N}]$$

Nominalna sila prese računa se po izrazu:

$$F_n = \frac{F_g}{\sin\alpha_n} \cdot \sin\alpha$$

$\alpha_n = 75°$ – nominalni ugao kojim se definiše puno iskorištenje mašine

$\alpha°$ – ugao krivaje i računa se po izrazu:

$$\alpha = arc\cos\left(1 - \frac{2 \cdot h_3}{H}\right) = arc\cos\left(1 - \frac{2 \cdot 96}{200}\right) = 87{,}7^\circ$$

h_3 = 197[mm] – visina komada nakon III faze izvlačenja
H = 200 [mm] – potreban hod pritiskivača prese

Na osnovu ovoga nominalna sila prese je:

$$F_n = \frac{F_g}{\sin\alpha_n}\cdot\sin\alpha = \frac{134664{,}54}{\sin 75^\circ}\cdot\sin 87{,}7^\circ = 139302{,}6772\ [\mathrm{N}]$$

Usvaja se F_n = 160 [kN]

Hod pritiskivača prese za nominalni ugao α_n = 75° je:

$$h_n = \frac{H}{2}\cdot(1-\cos\alpha_n) = \frac{200}{2}\cdot(1-\cos 75^\circ) = 74{,}12\ [\mathrm{mm}]$$

Usvaja se: h_n = 75 [mm]

Nominalni deformacioni rad prese je:

$$W_n = F_n \cdot h_n = 160 \cdot 75 = 12000\ [\mathrm{J}]$$

Pošto je: W_n = 12000 [J] > W_i = 2913,631 [J] to izabrana presa zadovoljava.

Tehnološke karakteristike prese za operaciju III su:

- nominalna sila prese F_n = 160 [kN]
- nominalni deformacioni rad W_n = 12000 [J]
- hod pritiskivača prese H = 200 [mm]

1.6.4. Izbor mašine za operaciju IV

Operacija III predstavlja drugu fazi izvlačenja.

Potreban hod pritiskivača prese je:

$$H = 2 \cdot h_4 + 5 = 2 \cdot 103{,}7 + 5 = 212{,}4\ [\mathrm{mm}]$$ Usvaja se H = 220 [mm]

Sila IV faze izvlačenja je:

$$F_i = F + F_d = 184115 + 47{,}575 = 184162{,}575\ [\mathrm{N}]$$

F_d = 47,575 [N] – sila držača lima za operaciju IV

Deformacioni rad IV faze izvlačenja je: W_i = 2220,4265 (Nm)

Granična sila pritiskivača prese je:

$$F_g = 1{,}3 \cdot F_i = 1{,}3 \cdot 184162{,}575 = 239411{,}3475\ [\mathrm{N}]$$

Nominalna sila prese računa se po izrazu:

$$F_n = \frac{F_g}{\sin\alpha_n}\cdot\sin\alpha$$

α_n = 75° – nominalni ugao kojim se definiše puno iskorištenje mašine
α° – ugao krivaje i računa se po izrazu:

$$\alpha = arc\cos\left(1-\frac{2\cdot h_4}{H}\right) = arc\cos\left(1-\frac{2\cdot 103{,}7}{200}\right) = 86{,}716^\circ$$

h_4 = 103,7[mm] – visina komada nakon IV faze izvlačenja
H = 220 [mm] – potreban hod pritiskivača prese

Na osnovu ovoga nominalna sila prese je:

$$F_n = \frac{F_g}{\sin\alpha_n} \cdot \sin\alpha = \frac{239411{,}3475}{\sin 75^\circ} \cdot \sin 86{,}716^\circ = 247450 \ [\mathrm{N}]$$

Usvaja se F_n = 250 [kN]

Hod pritiskivača prese za nominalni ugao α_n = 75° je:

$$h_n = \frac{H}{2} \cdot (1 - \cos\alpha_n) = \frac{220}{2} \cdot (1 - \cos 75^\circ) = 81{,}53 \ [\mathrm{mm}]$$

Usvaja se: h_n = 85 [mm]

Nominalni deformacioni rad prese je:

$$W_n = F_n \cdot h_n = 250 \cdot 85 = 2150 \ [\mathrm{J}]$$

Pošto je: W_n = 18750 [J] > W_i = 2220,4265 [J] to izabrana presa zadovoljava.

Tehnološke karakteristike prese za operaciju IV su:

- nominalna sila prese F_n = 250 [kN]
- nominalni deformacioni rad W_n = 2150 [J]
- hod pritiskivača prese H = 220 [mm]

1.6.5. Izbor mašine za operaciju V

Operacija V je obrezivanje posude. Ova operacija se vrši na univerzalnim makazama sa kružnim noževima sa horizontalnom donjom i nagnutom gornjom osom čija sila rezanja i obrtni moment na noževima treba da budu veći od sile i momenta dobivenih proračunom.
Tehnološke karakteristike univerzalnih makaza sa kružnim noževima sa nagnutim
međusobno paralelnim osovinama su:

- nominalna sila rezanja $F_n \geq F$ = 984,83 [N]
- nominalni obrtni moment na noževima $M_n \geq M$ = 8 [Nm]

1.6.6. Izbor mašine za operaciju VI

Operacija VI se sastoji obrubljivanja.

Potreban hod pritiskivača prese je:

$$H = 2 \cdot h_6 + 5 = 2 \cdot 95{,}1 + 5 = 195{,}2 \ [\mathrm{mm}] \quad \text{Usvaja se } H = 200 \ [\mathrm{mm}]$$

h_6 = 95,1 [mm] – visina komada nakon obrezivanja posude

Sila obrubljivanja je: F_o = 20250,30857 [N]

Deformacioni rad obrubljivanja je: W_o = 285,871 [J]

Mjerodavna sila za izbor prese jednaka je sili za obrubljivanje posude:

$$F = F_o = 20250{,}30857 \ [\mathrm{N}]$$

Granična sila pritiskivača prese je:

$$F_g = 1,3 \cdot F = 1,3 \cdot 20250,30857 = 26325,4 \text{ [N]}$$

$$F_n = \frac{F_g}{\sin\alpha_n} \cdot \sin\alpha$$

Nominalna sila prese računa se po izrazu:

$\alpha_n = 75°$ – nominalni ugao kojim se definiše puno iskorištenje mašine
$\alpha°$ – ugao krivaje i računa se po izrazu:

$$\alpha = arc\cos\left(1 - \frac{2 \cdot h_6}{H}\right) = arc\cos\left(1 - \frac{2 \cdot 95,1}{200}\right) = 87,19^{o}$$

$h_3 = 95,1$ [mm] – visina komada nakon obrezivanja
H = 200 [mm] – potreban hod pritiskivača prese

Na osnovu ovoga nominalna sila prese je:

$$F_n = \frac{F_g}{\sin\alpha_n} \cdot \sin\alpha = \frac{26325,4}{\sin 75^{o}} \cdot \sin 87,19^{o} = 27221,3 \; [\text{N}]$$

Usvaja se $F_n = 40$ [kN]

Hod pritiskivača prese za nominalni ugao $\alpha_n = 75°$ je:

$$h_n = \frac{H}{2} \cdot (1 - \cos\alpha_n) = \frac{200}{2} \cdot (1 - \cos 75^{o}) = 74,12 \; [\text{mm}]$$

Usvaja se: $h_n = 75$ [mm]

Nominalni deformacioni rad prese je:

$$W_n = F_n \cdot h_n = 40 \cdot 75 = 3000 \text{ [J]}$$

Pošto je: $W_n = 3000$ [J] > $W_i = 285,871$ [J] to izabrana presa zadovoljava.

Tehnološke karakteristike prese za operaciju IV su:

- nominalna sila prese $F_n = 40$ [kN]
- nominalni deformacioni rad $W_n = 3000$ [J]
- hod pritiskivača prese H = 200 [mm]

Pregled sila, deformacionih radova i tehnoloških karakteristika mašina po operacijama izrade konusnog poklopca dat je u tabeli 15.

Tabela 15. Pregled sila, deformacionih radova i tehnoloških karakteristika mašina po operacijama izrade

i	Operacija I		Operacija II	Operacija III	Operacija IV	Operacija V	Operacija VI
Faza izrade	Prosijecanje platine	Prvo izvlačenje	Drugo izvlačenje	Treće izvlačenje	Četvrto izvlačenje	Obrezivanje posude	Obrubljivanje
Deformaciona sila [N]	293904	213724,94	210056,2376	103588,12	184162,575	984,83	20250,3085
Deformacioni rad [J]	934,464	1051,678	12527,689	2913,631	2220,4265	(obrtni moment) 7,9	285,871
Vrsta mašine	Krivajna presa		Krivajna presa	Krivajna presa	Krivajna presa	Makaze sa kružnim noževima sa horizontalmom donjom i nagnutom gornjim osom	Krivajna presa
Nominalna sila [kN]	400		250	160	250	≥ 0,98483	40
Nominalni deformacioni rad [J]	28000		17500	12000	2150	(obrtni moment) ≥ 8 Nm	3000
Hod pritiskivača prese [mm]	136		185	200	220	-	200

2. KOVANJE U UKOVNJIMA

2.1 Uvod

Kovanje u ukovnjima

Kovanje u ukovnjima je proces kod kojeg metal, pod djelovanjem udara malja kovačkog čekića ili pod pritiskom pritiskivača prese (krivajne, frikicione, hidraulične) ili neke druge mašine za kovanje, ispunjava profilirani prostor izrađen u kovačkom alatu (ukovnju).

Za razliku od slobodnog kovanja gdje je širenje materijala u pravcima normalnim na pravac kretanja malja čekića neometano (slobodno) kod kovanja u ukovnjima ovo širenje je ometano zidovima gravure ukovnja. Cilj je da se početni oblik materijala pod dejstvom sile kovanja mijenja i ispunjava gravuru kovačkog alata dajući željeni oblik proizvoda.
Kovanje se može izvoditi u hladnom i vrućem stanju pripremka.
Tačnost kod hlade obrade je veća odnosno oblik otkovanog komada po obliku i dimenzijama je bliži finalnom proizvodu pa je potrebno manje materijala skinuti u toku obrade rezanjem.

Hladno kovanje se primjenjuje kod materijala koji su mekši i manje složeni u pogledu dobivanja željenog oblika otkovka .

U vrućem stanju kuju se materijali koji se ne mogu ili se vrlo teško obrađuju plastičnom deformacijom kovanjem na sobnoj temperaturi.

Mašine za kovanje se razlikuju po načinu popunjavanja kovačke gravure po tome što kod kovanja na kovačkim čekačima gravura se popunjava sa nekoliko udara malja čekićem, dok kod kovanja na presama gravura se popunjava u jednom hodu pritiskivača prese.

Kovački čekići koji se najviše primjenjuju su:

- čekići prostog dejstva
- čekići dvostrukog dejstva
- protuudarni čekići (čekići bez nakovnja)

Kod kovanja na principu jednog hoda najviše se primjenjuju:

- kovačke frikicione prese
- hidrauličke kovačke prese

Kovanje u ukovnjima ima veliku primjenjuj u metalnoj industriji i predstavlja jednu od najrasprostranjenijih metoda obrade plastičnom deformacijom.

Alat za kovanje u ukovnjima sa sastoji od gornjeg i donjeg ukovnja u kojima su izrađene gravure prema obliku otkovka. Presjek ravni podjele ili podione površine i otkovka definiše konturu linije sastava ukovnja.

Podiona ravan zavisi od konfiguracije otkovka i ona treba da bude određena tako da olakšava razlivanje materijala u gravuri, a istovremeno ne smije da otežava konstrukciju alata.

Volumen početnog oblika materijala je veći od gotovog otkovka, koji ide na dalju obradu sa skidanjem čestica. To je zbog toga jer se jedan dio materijala troši na obrazovanje vijenca i pločice. Vijenac otkovka je nužan radi boljeg popunjavanja gravure ukovnja i radi pravilnije eksploatacije alata.

U cilju uštede materijala kovanjem se pored vanjskog oblikovanja mogu izraditi i otvori čija je osa paralelna sa pravcem kretanja gornjeg dijela alata. Za izradu otvora služe odgovarajuća ispupčenja u gravuri. Rastojanje između ispupčenja gornje i donje gravure u završnoj fazi kovanja odgovara debljini pločice.

Nakon završnenog kovanja, otkovak definitivne gravure se obrađuje na presama i to:

- obrezivanjem vijenca (krzanjem vijenca)
- probijanje pločice

Ove operacije se obično rade u jednom kombinovanom alatu.
U veliko serijskoj i masovnoj proizvodnji se kao poluproizvod koristi valjani i vučeni materijal raznih profila.
Dati komad spada u II grupu otkovaka, podgrupa 1.

2.2. Materijal

Materijal definiran zadatkom je Č.4320. Ovo je čelik koji spada u grupu kvalitetnih konstrukcionih čelika za cementaciju sa maksimalnim sadržajem sumpora (S) i fosfora (P) do 0,045 %. Koristi se za izradu dijelova kod kojih se traži povećana žilavost i čvrstoća jezgra i koji su dinamički opterećeni zatezanjem, pritiskom i savijanjem. Hemijski sastav i mehaničke osobine ovog čelika date su u tabeli 10.

Tabela 10. Mehaničke osobine i hemijski sastav čelika Č.4320.

Hemijske osobine			Mehaničke osobine			
Ugljik %C	Krom %Cr	Mangan %Mn	Tvrdoća HB	σ_m [MPa]	σ_v [MPa]	δ_5 %
0,16	0,95	1,15	207	800 ÷ 1100	600	10

2.3. Konstrukcija otkovka

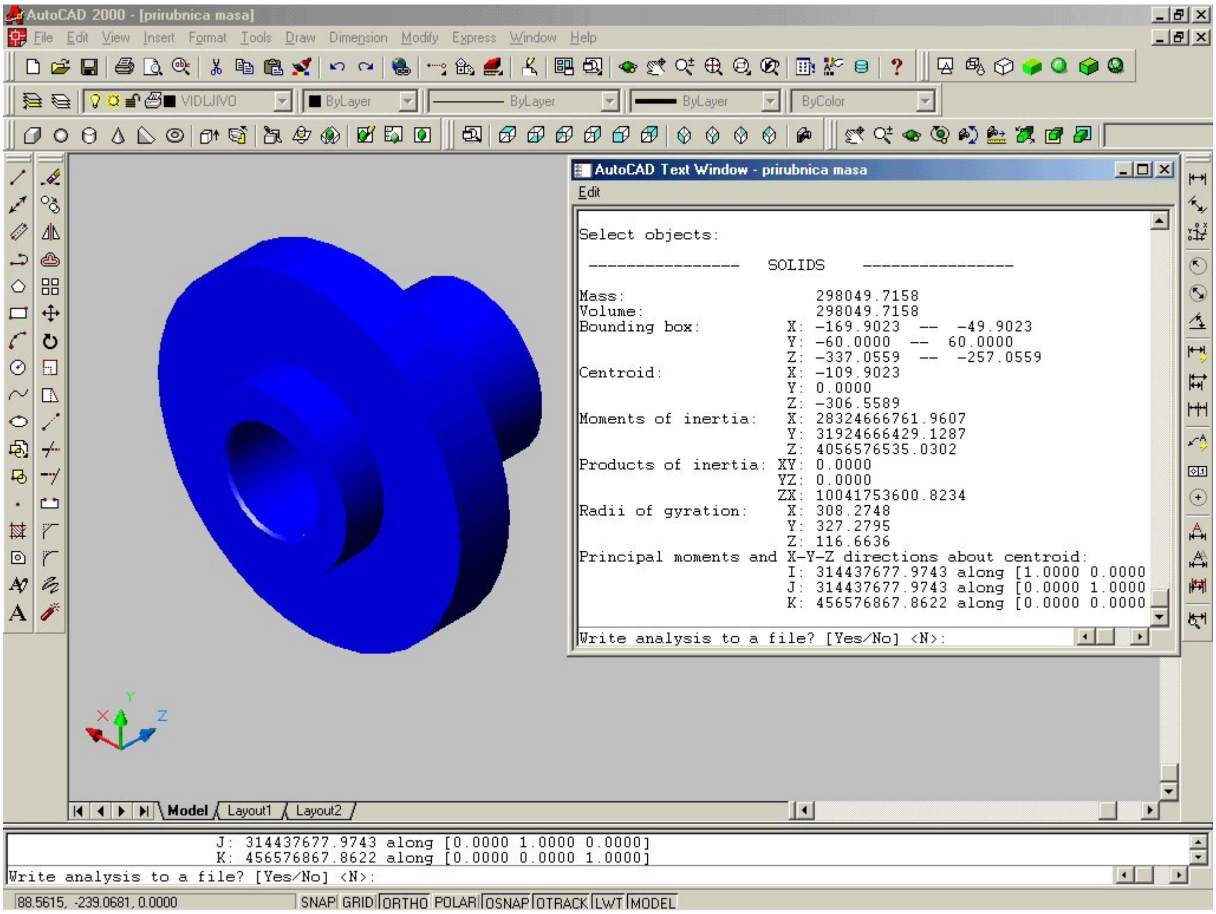
Konstrukcija otkovka predstavlja početnu fazu u procesu projektovanje tehnologije kovanja u ukovnjima i konstruiranja alata za ovu tehnologiju. Kao polazna osnova za konstruiranje otkovka služi konstruktivni crtež komada datog u sklopu zadatka, sa svojim oblikom, dimenzijama, kvalitetom izrade, materijalom itd. Pored osnovnih dimenzija komada vrlo važnu ulogu u konačnom izgledu otkovka igraju i neke tehnološke osobine koje zavise od samog procesa kovanja kao što su: ravan podjele otkovka, kovački nagibi i zaobljenja, pločice za probijanje, vijenac i dr.

2.3.1 Dodaci za obradu i izradne tolerancije otkovka

Dodatak za obradu predstavlja sloj materijala koji se skida u naknadnoj mehaničkoj obradi komada. Prema tome dodatke za obradu imaju samo one dimenzije koje se naknadno obrađuju skidanjem strugotine, dok za dimenzije koje se ne obrađuju dodaci nisu ni potrebni. Dodaci za obradu određuju se tabelarno i zavise od mase, kvaliteta površine i dimenzija otkovka.

2.3.2 Određivanje mase obrađenog komada

Masa obrađenog komada određena je na taj način što se on nacrta u AutoCAD – u pomoću 3D solid modela. Ovako nacrtanom komadu AutoCAD može automatski odrediti zapreminu kao što je prikazano na slici 25.



Slika 25. Osnovna masa gotovog komada određena pomoću AutoCad – a.

Masa gotovog komada je:

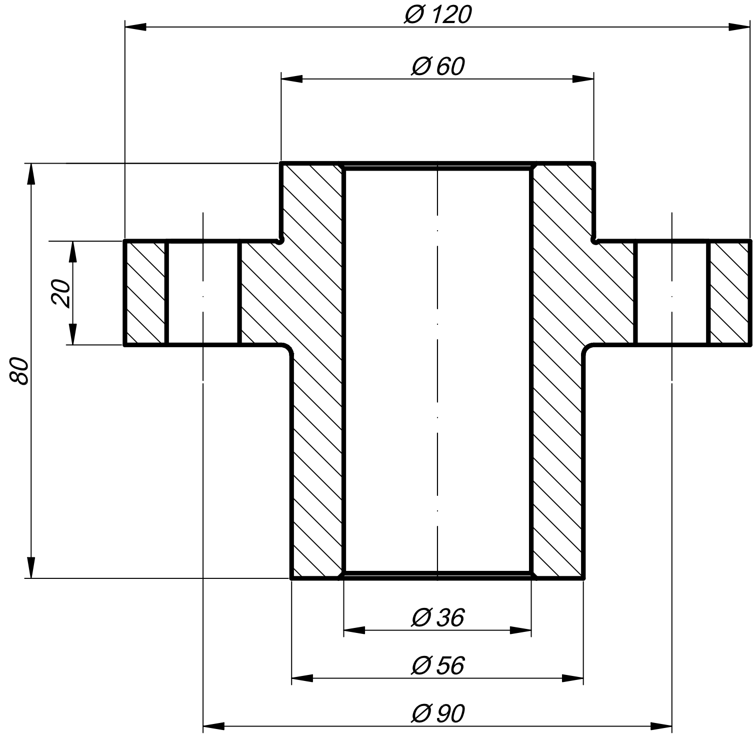
$$m = \rho \cdot V = 7{,}85 \cdot 0{,}298049 = 2{,}34 \ [kg]$$

$V = 0{,}2463 \ [dm^3]$ – zapremina gotovog komada ρ
$\rho = 7{,}85 \ [kg / dm^3]$ – specifična težina čelika

Otkovak ima za (25 ÷ 35) % veću masu, pa je približna masa otkovka:

$$m_o = (1{,}25 \div 1{,}35) \cdot m = (1{,}25 \div 1{,}35) \cdot 2{,}34 = (2{,}925 \div 3{,}16) \ [kg]$$

2.3.3. Proračun dodataka za obradu i izradnih tolerancija



Slika 26. Osnovne dimenzije na osnovu kojih se određuju dodaci za obradu i izradne tolerancije otkovka

2.3.3.1. Proračun dodataka za obradu otkovka

Dimenzije otkovka se određuju na osnovu dimenzija obrađenog komada i kvaliteta obrađenih površina:

$D_k = D + \delta_D$ $d_k = d - \delta_d$ $H_k = H + \delta_H$

gdje je:

D_k d_k H_k (mm) – vanjski prečnik , unutrašnji prečnik i visina otkovka
D d H (mm) - vanjski prečnik , unutrašnji prečnik i visina obrađenog komada
δ_D δ_d δ_H (mm) – dodaci za obradu (Tabela br.76 580 str. Binko Musafija.)

Dodatak za obradu sadrži u sebi sloj materijala sa greškom nastalim pri kovanju, uslijed nepotpunog ispunjavanja završne gravure nastaju razne neravnine.

Vrijednosti iz tabele uzima ćemo za slučaj velikoserijske proizvodnje gdje se kovanje vrši na mašinama univerzalnog karaktera to je: klasa 2, masa otkovka je 2,5 – 4 kg i kovanje je na kovačkim čekićima. Za te vrijednosti je izvršen odabir dodatka za obradu:

D = ϕ 120 (mm) i klasu tačnosti N9 je:
$\delta = 2 \cdot (2 + 0,6) = 5,2$ (mm)
$D_k = 120 + 5,2 = 125,2$ (mm)

D = ϕ 60 (mm) i klasu tačnosti N5 je:
$\delta = 2 \cdot (2 + 0,3) = 4,6$ (mm)
$D_k = 60 + 4,6 = 64,6$ (mm)

D = ϕ 56 (mm) i klasu tačnosti N9 je:
$\delta = 2 \cdot (2 + 0,6) = 5,2$ (mm)
$D_k = 120 + 5,2 = 61,2$ (mm)

d = ϕ 36 (mm) i klasu tačnosti N5 je:
$\delta = 2 \cdot (1,9 + 0,3) = 4,4$ (mm)
$d_k = 36 – 4,4 = 31,6$ (mm)

H = 80 (mm) i klasu tačnosti N5 je:
$\delta = 2 \cdot (1,9 + 0,3) = 4,6$ (mm)
$H_k = 80 + 4,6 = 84,6$ (mm)

H = 20 (mm) i klasu tačnosti N6 i N9 je:
$\delta = 2 \cdot (1,9 + 0,5) = 4,8$ (mm)
$H_k = 20 + 4,8 = 24,8$(mm)

2.3.3.2. Proračun izradnih tolerancija otkovka

Izradne tolerancije otkovka zavise od kvaliteta površine i težine otkovka (Δa i Δb) i od dimenzija otkovka (Δc) i određuju se po obrascu:

$x = \Delta a + \Delta c$
$y = \Delta b + \Delta c$

Izradne tolerancije unutrašnjih dimenzija se uzimaju sa suprotnim predznakom od izradnih tolerancija vanjskih dimenzija. Kovačke dimenzije sa izradnim tolerancijama sa prema tome računaju po obrascu:

$$D_k = (D + \delta_D)^{+x}_{-y}$$
$$d_k = (d - \delta_d)^{+x}_{-y}$$

Za masu otkovka od 2,5 do 4 kg i veliko serijsku proizvodnju izradnih tolerancija otkovka su: Δa = 1,6 (mm) i Δb = 0,6 (mm).

D = ϕ 120 (mm):
Δc = 0,24 (mm)
x = 1,84 (mm)
y = 0,94 (mm)

D = ϕ 60 (mm):
Δc = 0,24 (mm)
x = 1,84 (mm)
y = 0,94 (mm)

D = ϕ 56 (mm):
Δc = 0,24 (mm)
x = 1,84 (mm)
y = 0,94 (mm)

d = ϕ 36 (mm):
Δc = 0,1 (mm)
x = 1,7 (mm)
y = 0,8 (mm)

H = 80 (mm):
Δc = 0,24 (mm)
x = 1,84 (mm)
y = 0,94 (mm)

H = 20 (mm):
Δc = 0,1 (mm)
x = 1,7 (mm)
y = 0,8 (mm)

Tabela 16. Proračun dodataka za obradu i izradnih tolerancija otkovka

Dimenzije gotovog komada (D) i (H) [mm]		ϕ120	ϕ60	ϕ36	ϕ56	80	20
Kvalitet obrade		9	5	5	9	5	6,9
Dodatak za obradu δ/2 [mm]		2+0,6	2+0,3	1,9+0,3	2+0,6	2+0,3	1,9+0,5
Dimenzije otkovka [mm]	$D_k=D+\delta_D$; $H_k=H+\delta_H$	125,2	64,6	31,6	61,2	84,6	24,8
	Usvojeno	125	65	31	61	85	25
Izradne tolerancije otkovka [mm]	Δa	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
	Δb	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	Δc	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,1
	x = Δa+Δc	1,84	1,84	1,7	1,84	1,7	1,7
	y = Δb+Δc	0,94	0,94	0,8	0,94	0,8	0,8
Konačna dimenzija otkovka		$\phi 125^{+1,84}_{-0,94}$	$\phi 65^{+1,84}_{-0,94}$	$\phi 31^{+0,8}_{-1,7}$	$\phi 61^{+1,84}_{-0,94}$	$85^{+1,7}_{-0,8}$	$25^{+1,7}_{-0,8}$

2.4. Kovački nagibi i zaobljenja

Da bi se omogućilo vađenje otkovka iz alata za kovanje bez posebnih uređaja sve površine gravure koje su paralelne sa pravcem kretanja gornjeg dijela alata se izvode pod određenim nagibom. Veličina ugla nagiba zavisi od oblika konture i odnosa dimenzija pojedinih dijelova otkovka, kvaliteta površine gravure, temperature kovanja i niza ostalih faktora.

Vrijednost vanjskih (α) i unutrašnjih (α_1) uglova kovačkih nagiba zavisi od vrste mašine
za kovanje i njihove vrijednosti se usvajaju tabelarno [1]. Za kovčki čekić ovi uslovi iznose:

- vanjski ugao kovačkih nagiba $\alpha < 7°$ usvaja se $\alpha = 5°$
- unutrašnji ugao kovačkih nagiba $\alpha_1 < 10°$ usvaja se $\alpha_1 = 7°$

Vanjski radijus (R) i unutrašnji radijus (r) zaobljenja otkovka su veoma važne veličine, jer se njihovim povećanjem olakšava tečenje materijala i bolje popunjavanje gravure, takođe produžava se vijek trajanja kovačkih alata zbog smanjenja koncentracije napona na mjestima promjene prečnika komada.

Vanjski radijusi zaobljenja otkovka biraju se na osnovu tabela [1] i zavise od težine kvaliteta otkovka, dok se unutrašnji radijusi izračunavaju po obrascu:

$$r = (2,5 \div 3,5) \cdot R + 0,5 \ [\text{mm}]$$

Za otkovak prirubnicu definisan zadatkom diplomskog rada je:

- vanjski radijus zaobljenja otkovka R = 3 [mm]
- unutrašnji radijus zaobljenja otkovka:

$$r = (2{,}5 \div 3{,}5) \cdot R + 0{,}5 = 3 \cdot 3 + 0{,}5 = 9{,}5 \ [\mathrm{mm}]$$

Usvaja se r = 10 [mm]

2.4.1. Proračun pločice za probijanje

Da bi se smanjio otpadak materijala kod obrade skidanjem strugotine za komade koji imaju otvore sa osama paralelnim pravcu kretanja gornjeg ukovnja u komadu se pomoću posebnih ispupčenja u gravuri vrši utiskivanje slijepih udubljenja koja imaju profil traženog otvora. Materijal koji razdvaja gornji i donji otvor označava se kao pločica i ona se na posebnom alatu naknadno probija. U zavisnosti od dimenzija komada postoje četiri vrste pločica za probijanje:

- pločice sa istom debljinom primjenjuju se kada je: $d - 1{,}25 \cdot r_1 < 26$ [mm]
- pločice za otkivke male debljine primjenjuju se kada je: $d - 1{,}25 \cdot r_1 > 26$ [mm]
- pločice sa ispupčenjem primjenjuju se ako utiskivanje otvora vrši u prethodnoj gravuri
- pločica za niske otkivke primjenjuje se kod otkovka kod kojih je $d \geq 15 \cdot h$

Za otkovak prirubnicu je:

$d - 1{,}25 \cdot r_1 = 31 - 1{,}25 \cdot 17{,}2 = 9{,}5 < 26$ [mm]usvaja se pločica sa istom debljinom

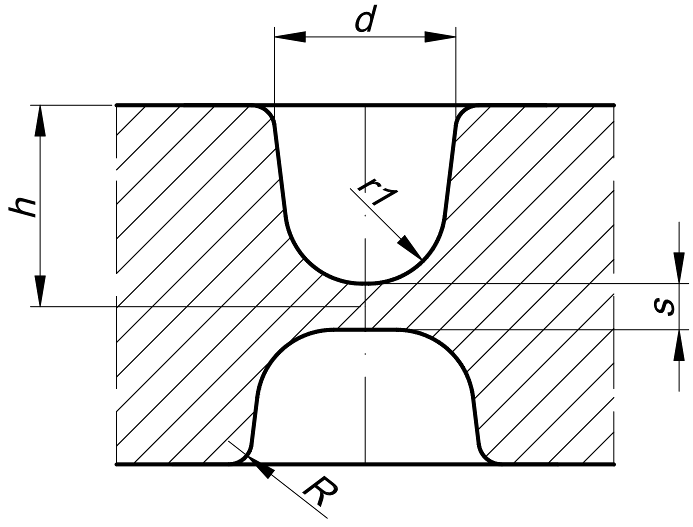
$r_1 = r + 0{,}1 \cdot h + 2 = 10 + 0{,}1 \cdot 52 + 2 = 17{,}2$ [mm]– radijus zaobljenja pločice

h = 52 [mm] – rastojanje od središta pločice do gornje površine otkovka
d = 31 [mm] – prečnik otvora na gornjoj površini otkovka

Debljina pločice računa se:

$$s = 0{,}45 \cdot \sqrt{d - 0{,}25 \cdot h - 5} + 0{,}6 \cdot \sqrt{h} = 0{,}45 \cdot \sqrt{31 - 0{,}25 \cdot 52 - 5} + 0{,}6 \cdot \sqrt{52} = 5{,}7266 \ [\mathrm{mm}]$$

Usvaja se debljina pločice s = 6 [mm]

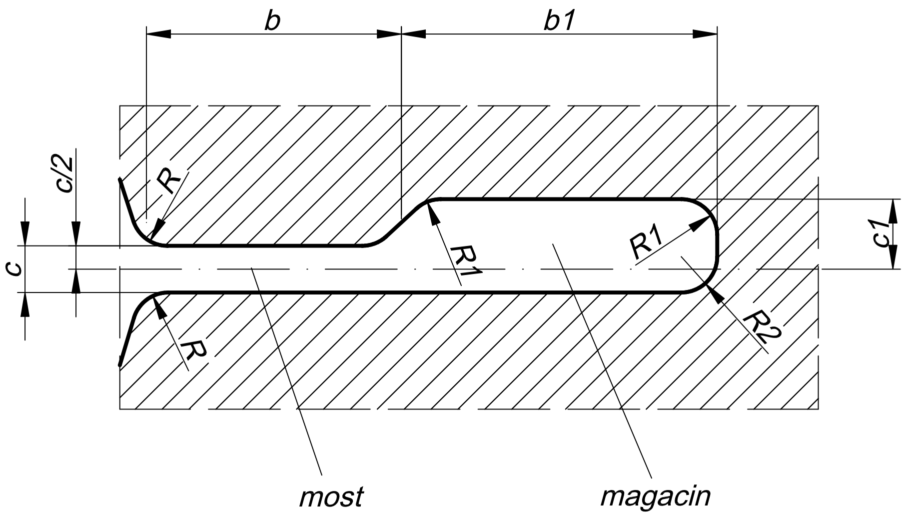


Slika 27. Osnovne dimenzije pločice za probijanje

2.4.2. Proračun dimenzija kanala za vijenac

Oko konture završne kovačke gravure od istisnutog metala obrazuje se vijenac otkovka koji zavisi od složenosti konfiguracije i pravilnosti rasporeda metala u raznim presjecima otkovka, a takođe služi i za ublažavanje udara malja čekića i produžuje vijek trajanja završne gravure. Vijenac se obrazuje u kanalu koji je izrađen oko završne gravure i sastoji od dva dijela: mosta manje visine koji se nalazi neposredno zu gravuru i magacina veće visine.

Najveću promjenu imaju kanali tipa I prikazanog na slici 28. sa osnovnim dimenzijama.



Slika 28. Osnovne dimenzije kanala za vijenac tipa I.

Visina mosta kanala za vijenac određuje se po obrascu:

$$c = 0{,}015 \cdot \sqrt{A}$$

A [mm^2] – površina otkovka u horizontalnoj ravni (normalnoj na ravan kretanja čekića) i računa se za najveći prečnik otkovka

$$D_{max} = D_1 + H_1 \cdot tg\alpha = 126{,}84 + 26{,}5 \cdot tg\ 5° = 129{,}158\ [mm]$$

D_1 = 126,84 [mm] – najveći prečnik otkovka
H_1 = 26,5 [mm] – visina koja odgovara najvećem prečniku

Površina otkovka u horizontalnoj ravni je:

$$A = \frac{D_{max}^2 \cdot \pi}{4} = \frac{129^2 \cdot \pi}{4} = 13063{,}185\ \left[mm^2\right]$$

Na osnovu ovoga visina mosta kanala za vijenac je:

$$c = 0{,}015 \cdot \sqrt{A} = 0{,}015 \cdot \sqrt{13063{,}185} = 1{,}714\ [mm]$$

Broj širine kanala se računa na osnovu koeficijenta kojim se uzima u obzir način popunjavanja gravure: $K = 1{,}5 + 0{,}3 \cdot \left(\frac{H}{B_{sr}}\right)$

gdje je:

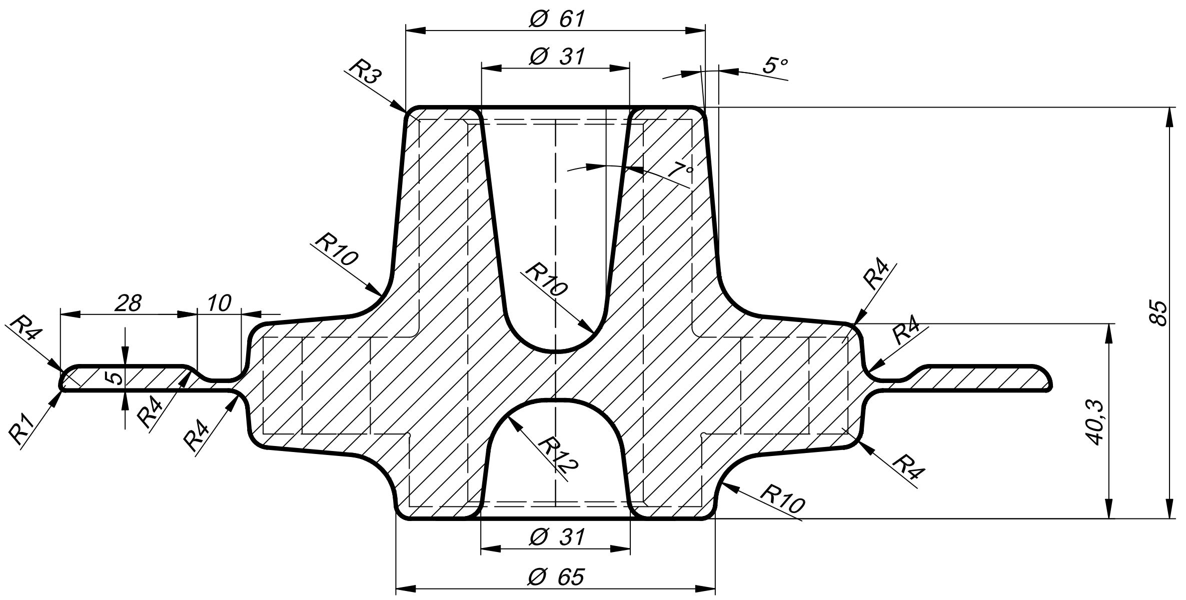
H = 52 (mm) – dubina gravure
B_{sr} – srednja širina gravure
$B_{sr} = 0{,}5 \cdot (B_1 + B_2) = 0{,}5 \cdot (126{,}84 + 124{,}06) = 125{,}45$ (mm)

$$K = 1{,}5 + 0{,}3 \cdot \left(\frac{H}{B_{sr}}\right) = 1{,}5 + 0{,}3 \cdot \left(\frac{52}{125{,}45}\right) = 1{,}62435$$

Za K = 1,6 ÷ 2,5 odgovara kanal br.2 . Uloženi materijal je veći od otvora gravure pa se kovanje vrši na kombinovanom principu, sabijanjem i utiskivanjem.

Za otkivak prirubnicu bira se vijenac tipa I sa podacima prema tabeli 80 kanal II, red. br. 5:

- c = 2 [mm] – visina mosta kanala za vijenac
- b = 10 [mm] – dužina mosta kanala za vijenac
- b_1 = 28 [mm] – dužina magacina kanala za vijenac
- A_v = 153 [mm^2] – površina poprečnog presjeka kanala za vijenac



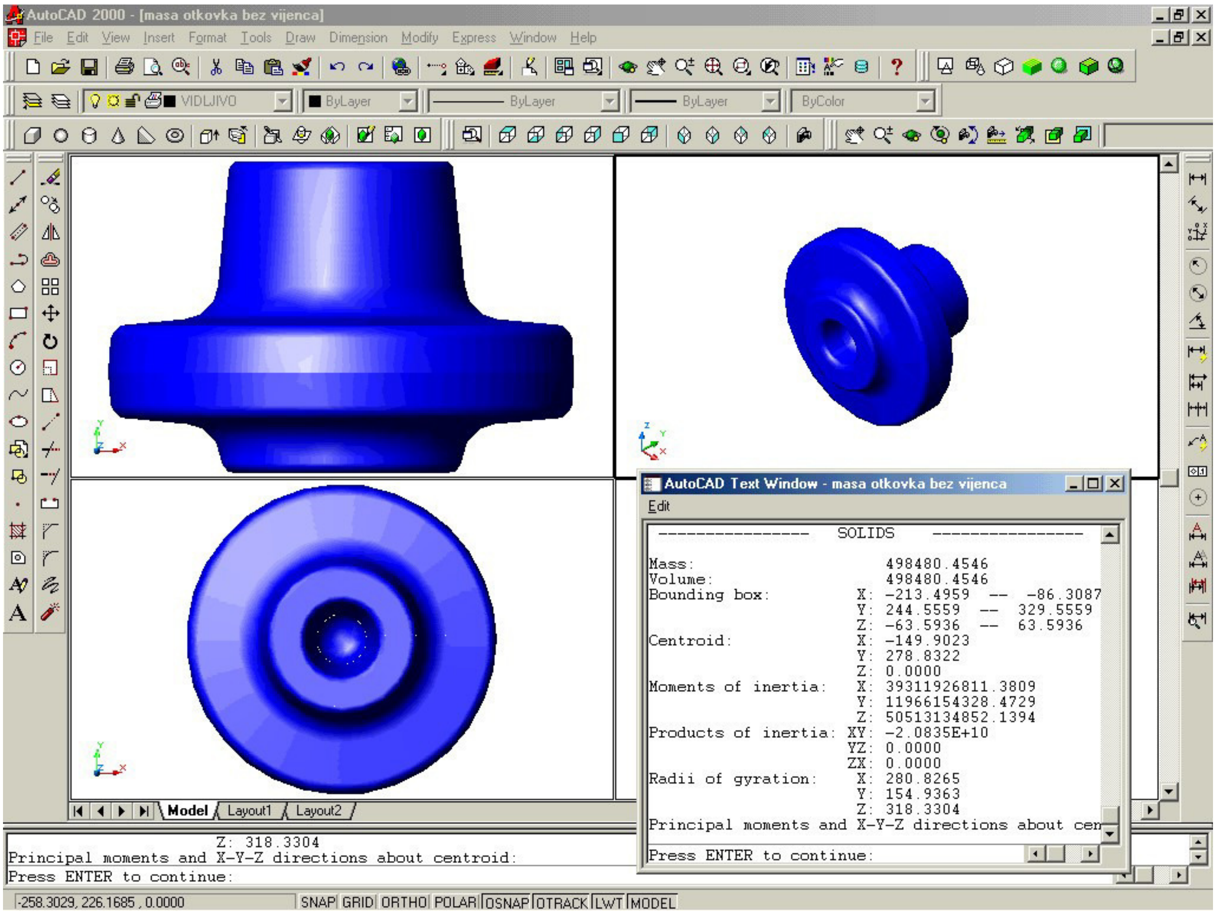
Na slici 29. prikazan je otkovak prirubnice sa vijencem.

2.5. Projektovanje tehnologije izrade

Otkivak prirubnice definiran zadatkom diplomskog rada može se na osnovu njegovog oblika i odnosa dimenzija svrstati u II grupu otkivaka za kovanje na kovačkim čekićima. Prilikom projektovanja tehnologije izrade otkovka prirubnice potrebno je odrediti oblik i dimenzije početnog materijala, kao i odrediti redoslijed faza izrade otkovka.

2.5.1. Proračun dimenzija početnog materijala za otkovka

Zapremina otkovka bez vijenca određena pomoću Auto CAD-a data je na slici 30.



Slika 30. 3D solid model otkovka bez vijenca.

Zapremina vijenca otkovka računa se po obrascu:

$$V_v = \xi \cdot A_v \cdot [P + \varphi \cdot (b + b_1)] = 0{,}5 \cdot 153 \cdot [129 \cdot \pi + 2 \cdot (10 + 28)] = 36801{,}09 \ [mm^3]$$

$\xi = 0{,}5$	– koeficijent kojim se uzima u obzir stepen popunjavanja kanala za vijenac
$A_v = 153 \ [mm^2]$	– površina poprečnog presjeka kanala
$P = D_{max} \cdot \pi = 129 \cdot \pi \ [mm]$	– obim otkovka u podionoj ravni
$\varphi = 2$	– koeficijent kojim se uzima u obzir oblik tkovka
$b = 10 \ [mm]$	– dužina mosta kanala za vijenac
$b_1 = 28 \ [mm]$	– dužina magacina kanala za vijenac

Zapremina početnog materijala računa se po obrascu:

$V_p = (V_o + V_v) \cdot (1 + \Delta) = (498480,4546 + 36801,09) \cdot (1 + 0,03) = 551340$ [mm³]

$V_o = 498480,4546$ [mm³] – zapremina otkovka bez vijenca (slika 30.)
$\Delta = 0,03$ – dodatak materijala predviđen za izgaranje

Prečnik valjka početnog materijala računa se po izrazu:

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{V_p}{m}} = \sqrt[3]{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{551340}{2,2}} = 68,34\ [\text{mm}] \qquad \text{usvaja se } d_p = 68\ [\text{mm}]$$

$m = 2,2$ – odnos prečnika i visine valjka

Na osnovu ovoga visina valjka je:

$h_p = m \cdot d_p = 2,2 \cdot 68 = 149,6$ [mm]

usvaja se $h_p = 150$ [mm]

Zapremina početnog materijala:

$$V_p = \frac{d_p^2 \cdot \pi}{4} \cdot h_p = \frac{68^2 \cdot \pi}{4} \cdot 150 = 544476\ [\text{mm}^3]$$

2.5.2. Određivanje redoslijeda faza izrade otkovka

Određivanje broj operacija kovanja za otkovke druge grupe.

Za $H > 2h$ ($80 > 2 \cdot 20$) – otkovak se kuje u dvije operacije.

Redoslijed faza izrade otkovka prirubnice:

1. Odsijecanje početnog oblika materijala dimenzija iz šipke okruglog oprečnog presjeka $d_p = 68$ (mm) na dužinu $l_p = 150$ (mm) kao na slici 31a.
2. Zagrijavanje početnog oblika materijala u peći na temperaturu kovanja od 1150 °C
3. Oslobađanje zagrijanog komada od okujine
4. Kovanje početnog materijala u prethodnoj gravuri na dimenzije date na slici 31b.
5. Kovanje otkovka u završnoj gravuri na oblik i dimenzije otkovka, slika 31c.
6. Krzanje vijenca i probijanje pločice, slika 31d.

2.6. Proračun i konstrukcija alata za kovanje

2.6.1. Proračun kovačkih gravura

2.6.1.1. Završna gravura

Završna gravura predstavlja tačan otisak otkovka u vrućem stanju u donjem i gornjem ukovnju kovačkog alata. S obzirom da se kovanje vrši u vrućem stanju potrebno je

izvršiti korekciju hladnih kota radi širenja pri zagrijavanju. Ova korekcija se vrši po obrascu:

$$D_l = D \cdot (1 + \alpha \cdot t) = n \cdot D$$

gdje je:
D_l– vanjski prečnik otkovka u vrućem stanju

D - vanjski prečnik otkovka u hladnom stanju

α - toplotni koeficijent linearnog istezanja

t – temperatura kovanja

n – korekcioni koeficijent povećanja dimenzija

Vanjske dimenzije otkovka se pri tome povećavaju, a unutrašnje se smanjuju tako da je:

$D_l = n \cdot D$

$d_l = d - (n \cdot d - d) = d \cdot (2 - n)$

Za temperaturu kovanja t = 1150°C je n = 1,024

Vruće dimenzije otkovka su date u tabeli 17.

Tabela 17.

Dimenzije hladne	125,2	64,6	31,6	61,2	84,6	24,8
Dimenzije vruće	128,2	66,15	30,84	62,67	86,63	25,4

2.6.1.2. Pripremno – prethodna gravura

U ovoj gravuri se vrši sabijanje početnog materijala na oblik diska sa prečnikom nešto većim od prečnika glavčine, ali ispod prečnika otkovka uz istovremeno djelomično istiskivanje konusa sa slijepim otvorima.

Dimenzije diska: $D > d_{1p} > d_p$

Obično se uzima da je: $d_{1p} = d_p + (15 \div 20) = 68 + 18 = 86$ (mm)

Prečnik diska je: $d_{1p} = 86$ (mm)

Visina diska se određuje iz uslova o konstantnosti volumena:

$$h_{1p} = \left(\frac{d_p}{d_{1p}}\right)^2 \cdot h_p = \left(\frac{68}{86}\right)^2 \cdot 150 = 93{,}78 \text{ (mm)}$$

Usvaja se: $h_{1p} = 94$ (mm)

Da bi se disk pripremno – prethodne gravure približio obliku završne gravure izvodi se korekcija oblika diska.

- kovački uglovi dobiveni u prethodnoj gravuri su veći od kovačkih uglova (α = 5° i α_1 = 7°) dobivenih u završnoj gravuri. Usvaja se α_p = 7° i α_{p1} = 10°
- prelazni radijusi su također veći nego radijusi dobiveni u završnoj gravuri (r = 10 [mm] i R = 3 [mm]).

  $r_p = 1{,}2 \cdot r + 3 = 1{,}2 \cdot 10 + 3 = 15$ [mm] i $R_p = 1{,}2 \cdot R + 3 = 1{,}2 \cdot 3 + 3 = 6{,}6$ [mm]

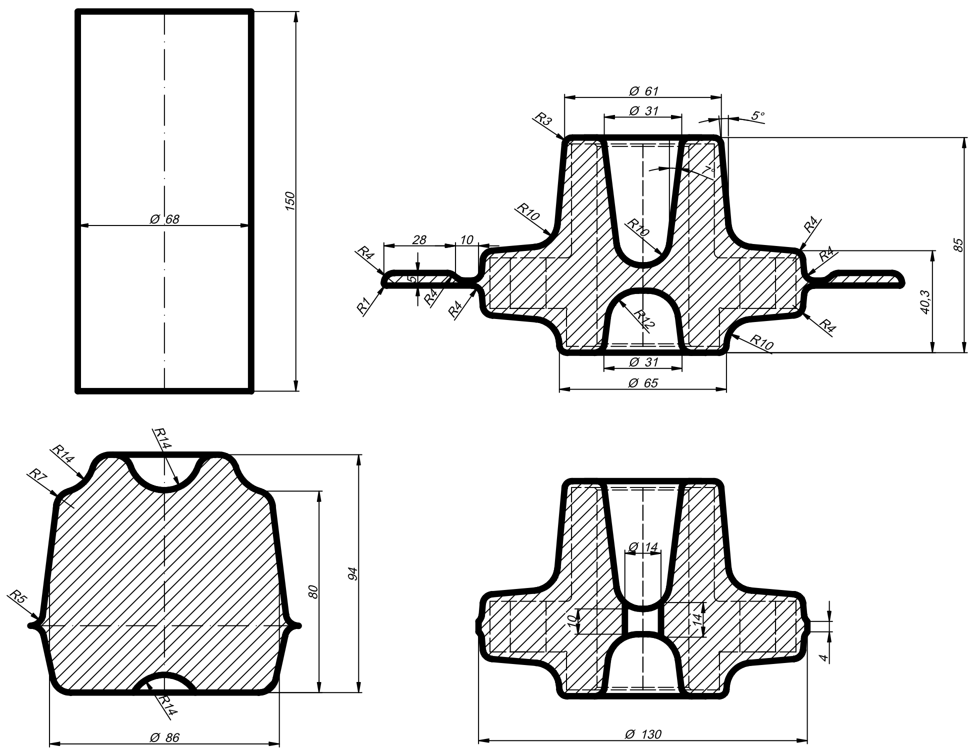
  Usvaja se r_p = 15 [mm] i R_p = 7 [mm]
- oko predhodne gravure se ne izvodi vijenac, već se izvodi zaobljenje sa radijusom:

  $R_{pv} = R_v + C = 1{,}5 + 4 = 5{,}5$ [mm]
- širina treba da bude za 20 ÷ 25 [mm] veća nego širina dobivena pomoću završne gravure
- najmanji prečnik istisnutog konusa računa se po izrazu:

  $d_1 = d - (2 \div 3) = 64{,}6 - 2{,}5 = 62{,}1$ [mm]

  Usvaja se d_1 = 62 [mm]
- visina konusnog dijela mora biti manja nego visina dobivena u završnoj gravuri (h = 25 [mm]). Usvaja se h_p = 22 [mm]

Sve ostale dimenzije otkovka dobivene u prethodnoj gravuri se usvajaju na osnovu jednakosti volumena, vodeći računa o popunjenosti gravure i prikazane su na slici 31.



Slika 31. Faze izrade otkovka prirubnice.

2.6.2. Otvori za kovačka kliješta i ulivni kanal

Otvor za kovačka kliješta se nalazi sa prednje strane kovačkog ukovnja u produžetku završne i predhodne gravure i za otkovke II grupe služi za prebacivanje iz predhodne u završnu gravuru, kao i za vađenje otkovka iz završne gravure. Oblik i dimenzije otvora za kovačka kliješta zavise od dimenzija početnog oblika materijala, kao i od vrste kovačkih kliješta i mora biti tako domenzionisan da omogućava nesmetanu manipulaciju kovačkim kliještima.

Za otkovke II grupe mjerodavna kota za dimenzionisanje otvora za kovačka kliješta je visina sabijenog diska h_1 (nakon kovanja u predhodnoj gravuri). Za visinu diska h_1 = 25 [mm] dimenzije otvora za kovačka kliješta su [1]:

- A = 64 [mm] – visina otvora za kovačka kliješta
- B = 50 [mm] – širina otvora za kovačka kliješta
- R = 12,5 [mm] – radijus zaobljenja otvora

Tačnost oblika i dimenzija gravure se provjerava ulivanjem probnog materijala (olovo, sumpor i sl.), koji nakon hlađenja treba da ima oblik i dimenzije otkovka u hladnom stanju. Da bi se omogućilo ulivanje, u kovačkom ukovnju se predviđa poseban ulivni kanal, koji veže dno otvora za kovačka kliješta sa gravurom.

Pošto je masa otkovka manja od 10 [kg] to je ulivni kanal šestaugaonog poprečnog presjeka sa dimenzijama [1]:

- t = 8 [mm] – širina ulivnog kanala
- s = 4 [mm] – visina ulivnog kanala

2.6.3. Konstrukcija i eksploatacija kovačkog ukovnja

Alat za kovanje se sastoji iz gornjeg donjeg ukovnja u kojima je izgrađena gravura. Veza sa maljem čekića, odnosno sa donjim dijelom alata, koji se nalazi u kovačkom ukovnju se ostvaraje preko završetka u obliku lastino repa i pomoći uzdužnog klinova.

U gornjem i donjem dijelu lastinog repa su izgrađena gnijezda u kojima upadaju bočni cenrirači, koji su drugim krajem učvršćeni u malj, odnosno donjem alatu kovačkog čekića. Na taj način se alat centrira u uzdužnom pravcu.

Minimalna širina kovačkog ukovnja se određuje u zavisnosti od najveće širine gravure i dubine gravure.

Za dubinu gravure h = 52 (mm)

- debljina zidova između gravure i vanjske ivice: a = 80 (mm)
- debljina zidova između gravure i gravure: a_1 = 56 (mm)
- minimalan visina ukovnja: H = 250 (mm)

Minimalna širina kovačkog ukovnja se određuje u zavisnosti od najveće širine gravure po obrascu:

$$B = C_b \cdot b \text{ (mm)}$$

gdje je:
C_b – koeficijent koji se bira u zavisnosti od najveće širine
$C_b = 2,8$
b = 129 (mm)
$B = 2,8 \cdot 129 = 361,2$ (mm)
Usvaja se: B = 362 (mm)

Proračunate dimenzije BxH se zaokružuju na standardne dimenzije blokova:

BxH= 400x250 (mm)

Dužina kovačkog ukovnja je:

$L = l + 3 \cdot h$

gdje je:

l = 129 (mm) – dužina gravure

h = 52 (mm) – durbin gravure

$L = 129 + 3 \cdot 52 = 285$ (mm)

Usvaja se L = 300 (mm)

Materijal za izradu kovačkog ukovnja mora da ispunjava sljedeće uslove:

- dobre mehaničke osobine kod normalnih i povećanih temperatura
- otpornost na dinamička opterećenja (visoka udarna žilavost)

- otpornost na habanje
- prokaljivost
- sposobnost za mehaničku obradu

Materijal koji zadovoljava gore navedene uslove je: Č.6451.

Tabela 18. Mehaničke osobine i hemijski sastav čelika Č.6451.

Hemijske osobine			
Ugljik %C	Krom %Cr	Volfram %W	Vanadijum %V
0,30	2,5	9,0	0,4

2.6.4. Obređivanje sile padajućih dijelova kovačkog čekića

sila padajućih dijelova čekića dvostrukog dejstva za kovanje u ukovnjima otkovka okruglog oblika u horizontalnoj ravni se može proračunati po obrascu:

$$G = (1 - 0{,}0005 \cdot D) \cdot \left(1{,}1 + \frac{20}{D}\right)^2 \cdot (0{,}75 + 10^{-5} \cdot D^2) \cdot D \cdot \sigma_n \quad (N)$$

gdje je:

D = 129 (mm) – najveći prečnik otkovka
σ_n = 60 (N/mm^2) – čvrstoća materijala u krajnjoj fazi procesa kovanja

$$G = (1 - 0{,}0005 \cdot 129) \cdot \left(1{,}1 + \frac{20}{129}\right)^2 \cdot (0{,}75 + 10^{-5} \cdot 129^2) \cdot 129 \cdot 60 \quad (N)$$

G = 11811,215 (N)
Usvaja se: G = 12000 (N) = 12 (KN)

2.6.5. Provjera veličine površine sudara

Površina sudara je onaj dio površine nakovnja koji nema gravure. Da ne bi došlo do gnječenja ova površina mora da zadovoljava uslov:

$$A_{doz} \geq (3 \div 5) \cdot G$$

$$A_{doz} \geq (3 \div 5) \cdot 12000 = 36000 \div 60000 \ (mm^2)$$

$$A = B \cdot L - [D_{max} + 2 \cdot (b + b_1)]^2 \cdot \frac{\pi}{4} - 2 \cdot B \cdot A \ (mm^2)$$

$$A = 400 \cdot 300 - [129 + 2 \cdot (10 + 28)]^2 \cdot \frac{\pi}{4} - 2 \cdot 50 \cdot 64 \ (mm^2)$$

A = 80610,675 (mm^2) – zadovoljava $A > A_{doz}$

2.6.6. Konstrukcija lastinog repa

Veza ukovnja sa radnim organima kovačkog čekića se ostvaruje pomoću lastinog repa. Alat se oslanja na malj kovačkog čekića po površinama lastinog repa. Da bi se izbjeglo gnječenje kontaktna površine lastinog repa mora ispunjavati uslov:

$A_{min} \geq 4500 \cdot G \ (mm^2)$

Za G = 12 KN iz tabele uzimanju se dimenzije lastinog repa:
b = 200 (mm) – širina lastinog repa
h = 50,5 (mm) – visina lastinog repa

$A_{min} \geq 4500 \cdot 12 = 54000 \ (mm^2)$

Kontaktna površina je: $A = b \cdot l = 200 \cdot 400 = 80000 \ (mm^2)$

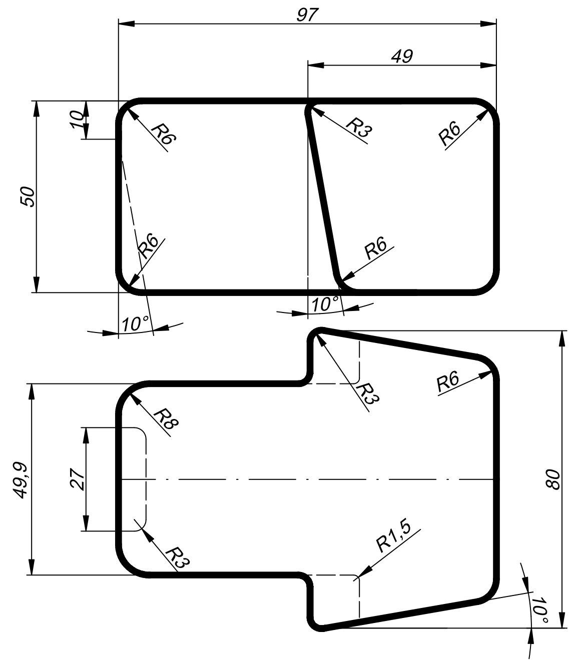
Uslov je ispunjen. Lastin rep izabranih dimenzija može izdržati opterećenja u toku rad.

2.6.7. Konstrukcija bočnog centrirača

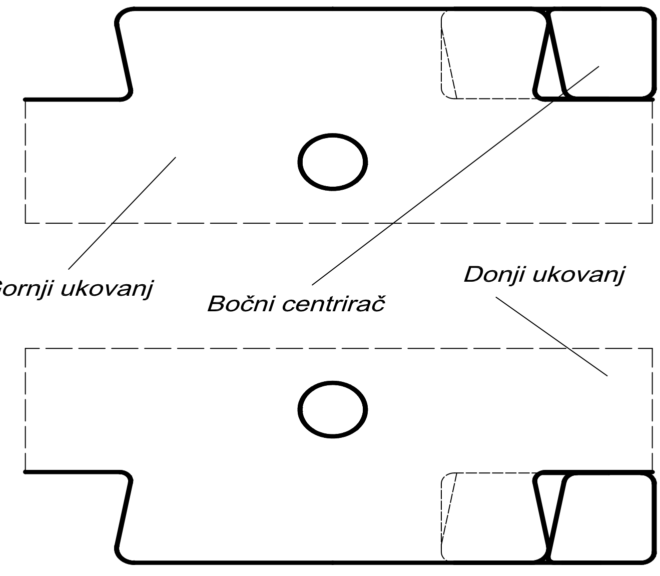
Bočni centrirač svojim užim krajem upada u gnijezdo izrađeno u lastinom repu kovačkog ukovnja, a širim konusnim dijelom se utiskuje u malj, odnosno nosač alata kovačkog čekića.

Dimenzije bočnog centrirača se određuju u zavisnosti od sile padajućih dijelova kovačkog čekića. Za G = 12000 (N):

f = 80 (mm) h = 50 (mm) l = 97 (mm) l_1 = 49 (mm) k = 49,9 (mm)



Slika 32. Konstrukcija bočnog centrirača.



Slika 33. Položaj bočnog centrirača.

2.7. Proračun alata za probijanje pločice i krzanje vijenca

Ova operacija obrade sastoji se iz probijanja pločice i krzanja vijenca oko otkovka i izvršava se na kombinovanom alatu za probijanje pločice i krzanje vijenca. Materijal alata je čelik Č. 4150. sa hemijskim sastavom i mehaničkim osobinama datim u tabeli 19.

Tabela 19. Tvrdoća i hemijski sastav čelika Č4150. [1]

Hemijske sastav					Tvrdoća	
Ugljik %C	Krom %Cr	Mangan %Mn	Silicij %Si	Vanadij %V	Poslije žarenja HB	Poslije kaljenja HRC
2	12	0,3	0,3	0,1	250	64

2.7.1 Određivanje dimenzija ploče za krzanje vijenca

Dimenzija ploče za krzanje vijenca se određuju na osnovu [1] visine mosta kanala za vijenac (c = 2 [mm]):

- minimalna visina ploče za krzanje H_{min} = 55 [mm]
- prečnik ploče jednak je D = 130 [mm]
- visina pojasa na koji se naslanja otkovak h = 12 [mm]
- minimalna širina ruba ploče za krzanje b_{min} = 35 [mm]
- unutrašnji ugao rezne konture je 5°
- vanjski prečnik ploče za krzanje je $D_v = D + 2 \cdot b_{min} = 130 + 2 \cdot 35 = 200$ [mm]

2.7.2. Određivanje dimenzija ploče za probijanje pločice

Određivanje dimenzija ploče za probijanje pločice se sastoji u određivanju debljine (H) [1], potom se vrši provjera ploče na savijanje.

Debljina ploče računa se po obrascu:

$$H = \left(10 + 5 \cdot s + 0{,}7 \cdot \sqrt{2 \cdot D}\right) \cdot c = \left(10 + 5 \cdot 10 + 0{,}7 \cdot \sqrt{2 \cdot 14}\right) \cdot 1{,}3 = 82{,}81\ [\mathrm{mm}]$$

Usvaja se H = 85 [mm]

s = 10 [mm] – debljina pločice
D = 14 [mm] – prečnik pločice
c = 1,3 – koeficijent koji zavisi od čvrstoće materijala koji se prosijeca

Vanjski prečnik ploče određuje se na osnovu konstrukcione dimenzije alata:D = 128 [mm]

Provjera na savijanje vrši se po izrazu:

$$\sigma_s = \frac{2{,}5 \cdot F}{H^2} \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{D_1}{D_0}\right) \leq \sigma_{sd}$$

D_1 = 14[mm] – unutrašnji prečnik ploče
D_0 = 14 + 4,4 = 18,4 [mm] – prečnik oslonca
σ_{sd} = 500 [MPa] – dozvoljeno naprezanje na savijanje
F [N] – sila probijanja računa se po izrazu

$$F = D_1 \cdot \pi \cdot t' \cdot \tau_m = 14 \cdot \pi \cdot 21{,}7 \cdot 200 = 190786{,}4\ [\mathrm{N}]$$

τ_m = 250 [MPa] – čvrstoća smicanja na temperaturi od 700°C

t' = u' + v + x = 14 + 6 + 1,7 = 21,7 [mm] – stvarna debljina pločice

u' = 14 [mm] – debljina pločice na liniji smicanja (određuje se grafički prema slici 31.)
v = 6 [mm] – dodatak koji predviđa trošenje ispusta u gravuri za kovanje
x = 1,7 [mm] – izradne tolerancije otkovka

Na osnovu ovoga slijedi:

$$\sigma_s = \frac{2{,}5 \cdot F}{H^2} \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{D_1}{D_0}\right) = \frac{2{,}5 \cdot 190786{,}4}{85^2} \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{14}{18{,}4}\right) = 32{,}53 \; [\mathrm{MPa}]$$

Pošto je: σ_s = 32,5[MPa] < σ_{sd} = 500 [MPa] ploča za probijanje je dobro dimenzionirana.

2.7.3. Određivanje dimenzija probojca

Kod proračuna dimenzija probojca potrebno je provjeriti probojac na izvijanje i povjeriti površinski pritisak između probojca i gornjeg nosača alata, tj. odrediti da li je potrebna kaljena međuploča.

Provjera probojca na izvijanje svodi se na određivanje maksimalne dužine probojca pri kojoj neće doći do izvijanja. Konstruktivna izvedba probojca je da je on ukliješten i vođen, a to je IV slučaj po Eulerovom kriteriju pa je maksimalna dužina probojca:

$$l_{\max} = 254{,}8 \cdot \sqrt{\frac{D^3}{t' \cdot \tau_m}} = 254{,}8 \cdot \sqrt{\frac{14^3}{21{,}7 \cdot 250}} = 181{,}214 \; [\mathrm{mm}]$$

D = 14 [mm] – prečnik pločice
t' = 21,7 [mm] – stvarna debljina pločice
τ_m = 250 [MPa] – čvrstoća smicanja

Pritisak između probojca i gornjeg nosača alata mora da zadovolji uslov

$$\mathrm{p} = \frac{4 \cdot \mathrm{F}}{\pi \cdot \mathrm{D}^2} \leq \mathrm{p_d}$$

p_d = 250 [MPa] – površinski pritisak za SL 18 (gornji nosač alata)
F = 190786,4 [N] – sila probijanja

Na osnovu ovoga slijedi:

$$p = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 190786{,}4}{\pi \cdot 14^2} = 1240 \; [\mathrm{MPa}]$$

Pošto je:p = 1240 [MPa] < p_d = 250 [MPa] između probojca i gornjeg nosača alata potrebna kaljena međuploča, također je potrebno povećati prečnik probojca na gornjem kraju.

2.7.4. Zazori i tolerancije izrade alata za probijanje pločice i krzanje vijenca

Kvalitet izrade alata za probijanje pločice i krzanje vijenca usvaja se N15. Proračun vrijednosti zazora i tolerancija izrade alata dat je u tabeli 20.

Tabela 20.Proračun zazora i tolerancija alata za probijanje pločice.

Probijanje pločice			
Nazivna mjera predmeta [mm]		D = 14 [mm] kvalitet N15	14
Zazor [mm]	Analitički	$f = (h \cdot tg\ \alpha_1 - 0,5) = (14,5 \cdot tg\ 7° - 0,5)$	1,28
	Usvaja se	$f = 1,3$	1,3
Izradna tolerancija predmeta [µm]		$\Delta = 700$	700
Najveća mjera predmeta [mm]		$D_{max} = 14,7$	14,7
Najmanja mjera predmeta [mm]		$D_{min} = 14$	14
Nazivne mjere alata [mm]	Prečnik probojca	$d_s = D_{max} = 14,7$ kvalitet N6	14,7 h6
	Prečnik prstena za probijanje	$d_M = d_s + 2 \cdot f = 14,7 + 2 \cdot 1,3$ kvalitet N7	17,3 H7
Izradne tolerancije alata [µm]	Prsten	$t_M = 18$	18
	Prosjekač	$t_s = 27$	27
Dimenzije prstena za probijanje [mm]	Najveći prečnik	$d_{M\ max} = d_M + t_M = 17,3 + 0.018$	17,318
	Najmanji prečnik	$d_{M\ min} = d_M = 17,3$	41,4
Dimenzije probojca [mm]	Najveći prečnik	$d_{s\ max} = d_s = 14,7$	38,8
	Najmanji prečnik	$d_{s\ min} = d_s - t_s = 14,7 - 0,027$	14,727

Tabela 21.Proračun zazora i tolerancija alata za krzanje vijenca

Krzanje vijenca			
Nazivna mjera predmeta [mm]		D = 130 [mm] kvalitet N14	130
Zazor [mm]	Usvaja se	$f = 0,8$	0,8
Izradna tolerancija predmeta [µm]		$\Delta = 1000$	1000
Najveća mjera predmeta [mm]		$D_{max} = 130$	130
Najmanja mjera predmeta [mm]		$D_{min} = 129$	129

Nazivne mjere alata [mm]	Prečnik prstena za obrubljivanje	$d_M = 129$ kvalitet N7	129 H7
	Prečnik prosjekača	$d_s = d_M - 2 \cdot f = 129 - 2 \cdot 0{,}8$ kvalitet N6	127,4 h6
Izradne tolerancije alata [μm]	Prsten	$t_M = 40$	1600
	Prosjekač	$t_s = 25$	1000
Dimenzije prstena za krzanje vijenca [mm]	Najveći prečnik	$d_{M\,max} = d_M + t_M = 129 + 0{,}04$	129,04
	Najmanji prečnik	$d_{M\,min} = d_M = 129$	129
Dimenzije opsjekača vijenca [mm]	Najveći prečnik	$d_{s\,max} = d_s = 127{,}46$	127,46
	Najmanji prečnik	$d_{s\,min} = d_s - t_s = 127{,}4 - 0{,}025$	127,375

2.7.5. Određivanje sila, deformacionih radova i izbor mašine za probijanje pločice i krzanje vijenca

Sila probijanja pločice računa se po izrazu

$$F = D_1 \cdot \pi \cdot t' \cdot \tau_m = 14 \cdot \pi \cdot 21{,}7 \cdot 200 = 190786{,}4 \text{ [N]}$$

$\tau_m = 250$ [MPa] – čvrstoća smicanja na temperaturi od 700°C

$t' = u' + v + x = 14 + 6 + 1{,}7 = 21{,}7$ [mm] – stvarna debljina pločice

$u' = 14$ [mm] – debljina pločice na liniji smicanja (određuje se grafički prema slici 31.)

$v = 6$ [mm] – dodatak koji predviđa trošenje ispusta u gravuri za kovanje

$x = 1{,}7$ [mm] – izradne tolerancije otkovka

Deformacioni rad probijanja pločice je:

$x = 0{,}25$ – faktor koji pokazuje odnos srednje (F_{sr}) i maksimalne (F_m) sile

Sila prese potrebna za krzanje vijenca računa se po izrazu:

$$F_v = 1{,}4 \cdot D_{max} \cdot \pi \cdot (u + x) \cdot \sigma_m = 1{,}4 \cdot 129 \cdot \pi \cdot (2{,}45 + 1{,}84) \cdot 250 = 193693{,}5 \text{ [N]}$$

$\sigma_m = 250$ [MPa] – čvrstoća istezanja

$u = 2{,}45$ [mm] – debljina vijenca na liniji smicanja (određuje se grafički prema slici 31.)

$x = 1{,}84$ [mm] – izradne tolerancije otkovka

$$W_p = x \cdot \frac{F \cdot t'}{1000} = 0{,}25 \cdot \frac{190786{,}4 \cdot 21{,}7}{1000} = 1035 \,[\text{J}]$$

Deformacioni rad potreban za krzanje vijenca je:

$$W_v = x \cdot \frac{F \cdot (u + x)}{1000} = 0{,}25 \cdot \frac{193693{,}5 \cdot (2{,}45 + 1{,}84)}{1000} = 207{,}736 \,[\text{J}]$$

$x = 0,25$ – faktor koji pokazuje odnos srednje (F_{sr}) i maksimalne (F_m) sile

Potreban hod pritiskivača prese usvaja se H = 100 [mm]

Mjerodavna sila za izbor prese jednaka je zbiru sile probijanja pločice i krzanja vijenca uvećana za koeficijent sigurnosti 1,25

$$F = 1{,}25 \cdot (F_p + F_v) = 1{,}25 \cdot (190786{,}4 + 193693{,}5) = 2626474{,}8 \text{ [N]}$$

Mjerodavni deformacioni rad za izbor prese jednak je zbiru radova probijanja pločice i radu krzanja vijenca:

$$W = W_p + W_v = 1035 + 207{,}736 = 1242{,}736 \text{ [J]}$$

Tehnološke karakteristike prese za probijanje pločice i krzanje vijenca su:

- sila prese $F \geq 2{,}626$ [MN]
- deformacioni rad $W \geq 1242{,}736$ [J]
- hod pritiskivača prese $H = 100$ [mm]

Zbog niza kojeficijenata koji su uzeti orjentaciono po preporuci poterbno je kontrolisati tehnološki proces kovanja i utvrditi da li je potrebno izvršiti korekcije dimenzija početnog materijala – početne šipke.

U proračunu alata za krzanje vijenca i probijanje pločice predviđeno je da se operacije vrše u vrućem stanju (t = 750 °C ÷ 800 °C). Da bi se iskoristile pogodnosti obrade materijala u vrućem satnju (radi uštede snage mašine koja je poterbna za obradu) poterbno je presu za krzanje vijenca i probijanje pločice smjestiti što bliže kovačkom čekiću.

Za izradu gornjeg i donjeg ukovnja koriste se blokovi standardnih dimenzija.

2.8. ZAKLJUČAK

Tehnologija prerade matala deformacijom je moderan vid prerade metala koji se primjenjuje u gotovo svim savremenim fabrikama.Ovaj način prerade u odnosu na ostale ima niz tehničko – ekonomskih prednosti.
Proizvodno – tehničke prednosti ovog načina obrade su:

1. Jednim relativno jednostavnim hodom mašina za obradu deformacijom (presa ili čekić) proizvode se dijelovi vrlo složenog oblika, koje bi na drugi način bilo gotovo nemoguće raditi, ili bi za izradu istih trebalo niz složenih i veoma skupih operacija.
2. Tačnost izrađenih dijelova je velik jer se mogu postići vrlo uske izradne tolerancije.
3. Dobivaju se proizvodi visokih kvaliteta koji uz to imaju i relativno manju težinu:

Ekonomske prednosti:

1. Utrošak materijala je mali, jer je otpadak sveden na minimum.
2. Sa odgovarajućom opremom pogona mašina, alata i uređajima, uz neophodnu automatizaciju tehnološkog procesa može se postići vrlo visoka produktivnost.
3. Mašine za obradu deformacijom su jednostavne za posluživanje, tako da se za samu proizvodnju ne zahtjeva viskokvalifikovana radna snaga.
4. Moguća je proizvodnja velikih količina uz nisku cijenu koštanja.

Danas se nastoji da se obradom deformacijom postignu definitivne dimenzije komada.

Obrada metala plastičnom deformacijom ima niz tehničkih i ekonomskih prednosti u odnosu na druge načine obrade, ali zbog cijene alata i mašina ovaj vid prerade materijala opravdano je koristiti u serijskom tipu proizvodnje.

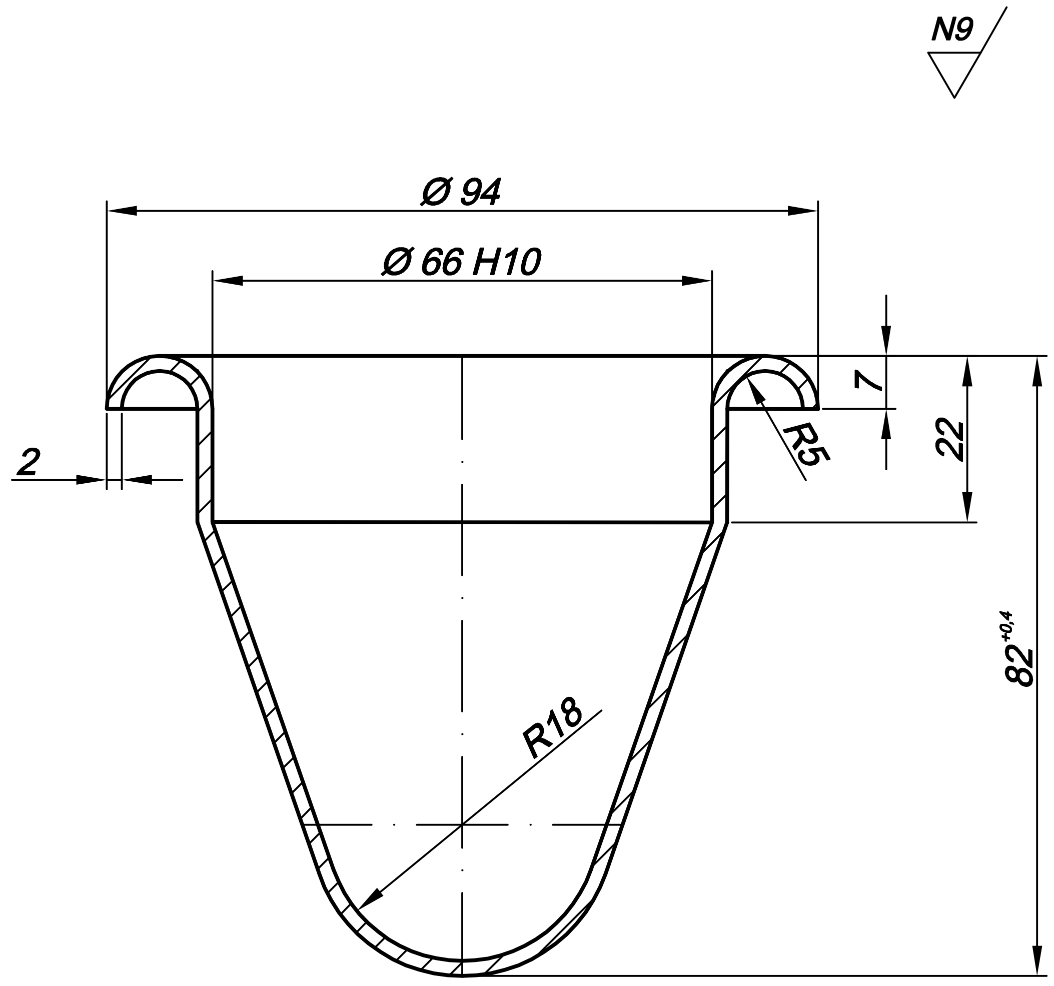
Jedan od bitnih razloga zbog kojih dijelovi izrađeni postupkom plastične deformacije imaju bolje mehaničke osobine leži u tome što je kod obrade deformacijom tok vlakana je neprekinut.

Prilikom konstrukcije alata i određivanja dimenzija početnog materijala, kako kod dubokog izvlačenja, tako i kod kovanja korišteni su određeni principi koji u stvarnosti ne mogu predvidjeti neke eksploatacione neugodnosti kao npr. homogenost materijala nije svuda ista, postoje odstupanja po debljini materijala itd. pa je zbog toga potrebno izvršiti proizvodnju par probnih komada na osnovu čijih dimenzija se donosi zaključak da li je početni materijal dobro dimenzioniran ili ne. Korekcije ako je potrebno izvršavaju se na dimenzijama i obliku početnog materijala, a isto tako ako je potrebno i na dimenzijama alata. Ove probe i korekcije se vrše sve dok se ne postignu oblik i dimenzije predmeta zadatog projektnim zadatkom.

Obrada metala plastičnom deformacijom je jedan od najstarijih, ali i jedan od najsuvremenijih vidova prerade metala. Od prvih kovačnica, pa do najsuvremenijih postrojenja za proizvodnju automobila, aviona i drugih proizvoda metalne industrije metode obrade plastičnom deformacijom su pronašle svoje mjesto i bez njih je nezamisliv bilo kakav razvoj metalne industrije.

LITERATURA

1. Prof. dr. Binko Musafija — Obrada metala plastičnom deformacijom
Sarajevo, 1988. godine
2. Doc. dr. Suad Hasanbegović — Predavanja:Obrada metala plastičnom deformacijom
Sarajevo, 1998/1999. godina
3. Dipl. ing. Bojan Kraut — Strojarski priručnik
Zagreb, 1982. godine
4. FAMOS — ISO – tolerancije u mašinstvu
Sarajevo, 1985. godine



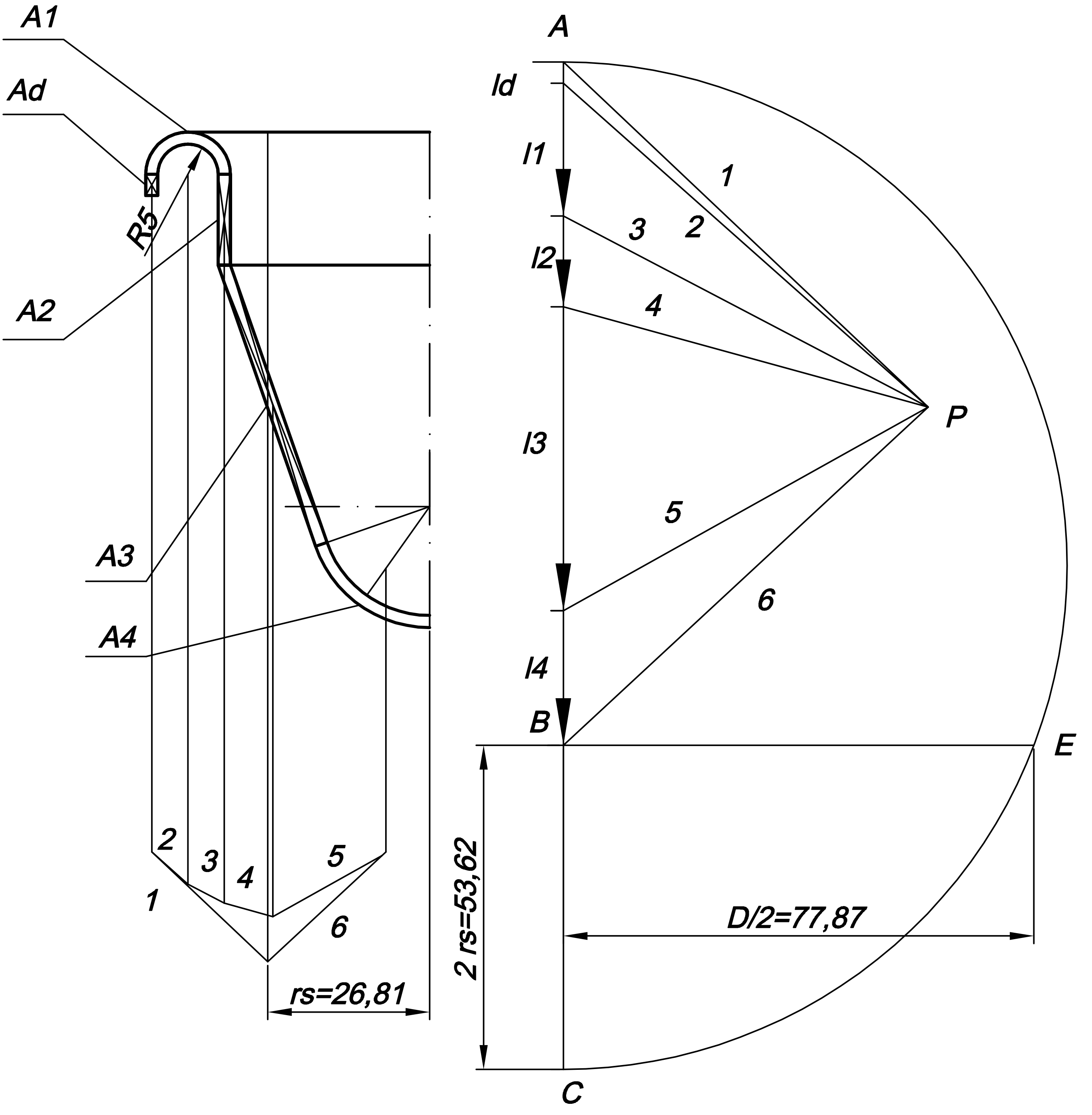
Ø66 H10	+0,120
	0

Napomena : oštre ivice oboriti na 0,2/45°
tolerancije ne tolerisanih mjera po DIN 7168/79

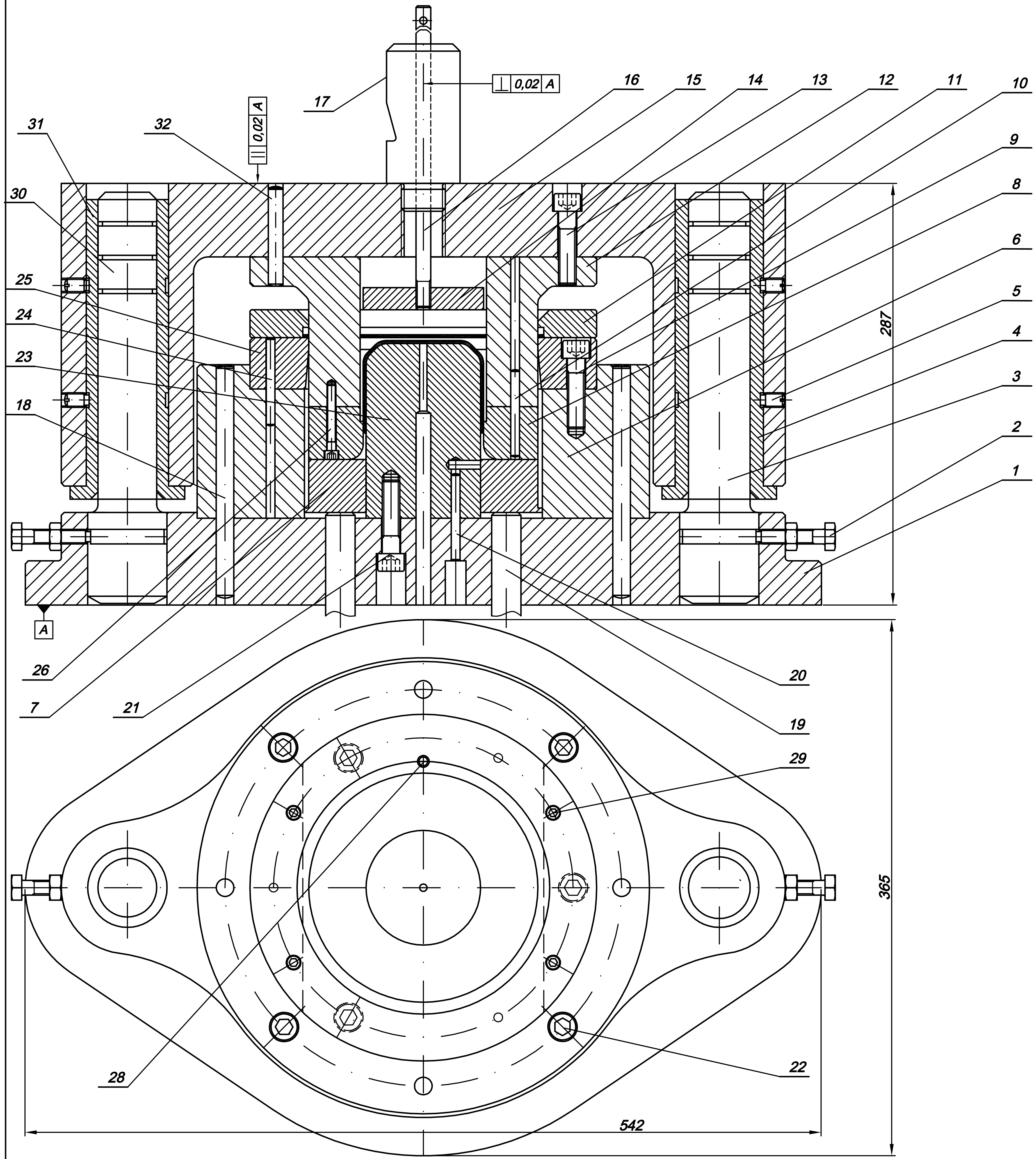
		Konusni poklopac		Č.0146.P4.	75000	
Poz.	Oznaka dijela	Naziv- Oblik i veli č ina	Standard Oznaka crte ž a	Materijal- primjedbe	Kom.	Na.

Veza sa:	Tolerancija:	Obrada:	Mjerilo: 1 : 1	Masa:
			Sirovina:	

					Datum	Ime	Potpis	Naziv:
				Obrad.				Konusni poklopac
				Ispitao				
				Stand.				
				Ozna.				
				Mašinski fakultet Sarajevo		Oznaka dokumenta:		List br.
St.iz	Izmjena:	Datum:	Ime	Klasifikacija:		Izvorni dokument:	Zamjena za:	



Veza sa:				Tolerancija:		Obrada:	Mjerilo: 1 : 1		Masa:	
							Sirovina:			
					Datum	Ime	Potpis	Naziv:		
				Obrad.		H.D ževad	Hadžihafizović	Grafička metoda određivanja dimenzije platine		
				Ispitao			Dževad			
				Stand.						
				Ozna.						
				Mašinski fakultet Sarajevo			Oznaka dokumenta:		List br.	
St.iz	Izmjena:	Datum:	Ime	Klasifikacija:			Izvorni dokument:	Zamjena za:		



Poz.	Oznaka dijela	Naziv- Oblik i veličina	Standard Oznaka crteža	Materijal- primjedbe	Kom.	Napom.
32		Čivija Ø10	JUS M.C2.201	Č. 0645.	5	
31		Čaura stubnih vođica Ø40	DIN 9834	Č. 1220.	1	
30		Stubna vođica Ø40	DIN 9833	Č. 1120.	1	
29		Vijak M6	JUS M.B1.120	Č. 0545.	4	
28		Graničnik		Č. 1220.	1	
27		Čivija Ø10	JUS M.C2.201	Č. 0645.	3	
26		Vijak M6	JUS M.B1.120	Č. 0545.	3	
25		Prsten za prosijecanje		Č. 4150.	1	
24		Čivija Ø6	JUS M.C2.201	Č. 0645.	3	
23		Izvlakač		Č. 4150.	1	
22		Vijak M12	JUS M.B1.120	Č. 0545.	4	
21		Vijak M12	JUS M.B1.120	Č. 0545.	3	
20		Čivija Ø6	JUS M.C2.201	Č. 0645.	3	
19		Spojnica držača lima		Č. 1220.	4	
18		Čivija Ø12	JUS M.C2.201	Č. 0645.	4	
17		Cilindrični rukavac	DIN 9812	Č. 0545.	1	
16		Motka izbijača		Č .1220.	1	
15		Gornji nosač alata		SL. 18	1	
14		Ploča izbijača		Č. 0345.	1	
13		Vijak M12	JUS M.B1.120	Č. 0545.	5	
12		Nosač prosjekača i prstena		Č. 1220.	1	
11		Skidač trake i vođica		Č. 1220.	1	
10		Čivija Ø6	JUS M.C2.201	Č. 0645.	3	
9		Vijak M12	JUS M.B1.120	Č. 0545.	3	
8		Prosijekač i prsten za izvlačenje		Č. 4150.	1	
7		Držač lima		Č. 1220.	1	
6		Nosač prstena za prosijecanje		Č. 1220.	1	
5		Vijak M10	JUS M.B1.291	Č. 0545.	4	
4		Čaura stubnih vođica Ø42	DIN 9834	Č. 1220.	1	
3		Stubna vođica Ø42	DIN 9833	Č. 1120.	1	
2		Vijak za osiguranje M10	JUS M.B1.291.	Č.0545.	2	
1		Donji nosač alata	DIN 9812	SL. 18	1	

Veza sa:	Tolerancija:	Obrada:	Mjerilo: 1 : 2	Masa:
			Sirovina:	

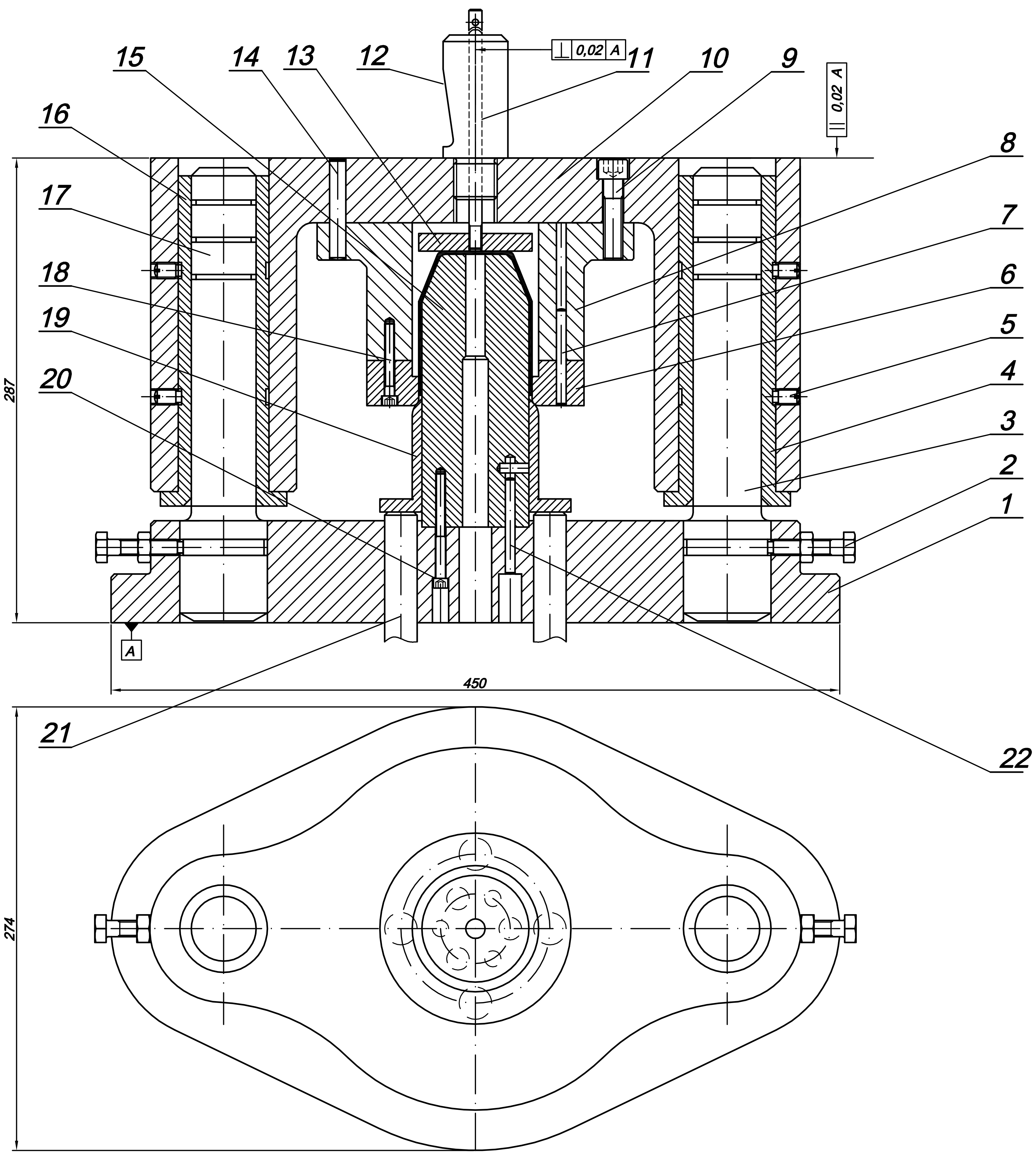
	Datum	Ime	Potpis	Naziv:
Obrad.	6.1.2002.	Dževad	Hadžihafizović	Alat za prosijecanje platine i prvu fazu izvlačenja
Ispitao			Dževad	
Stand.				
Ozna.				

Mašinski fakultet Sarajevo

Oznaka dokumenta: I

List br. I / 15

St.iz.	Izmjena:	Datum:	Ime	Klasifikacija:	Izvorni dokument:	Zamjena za:



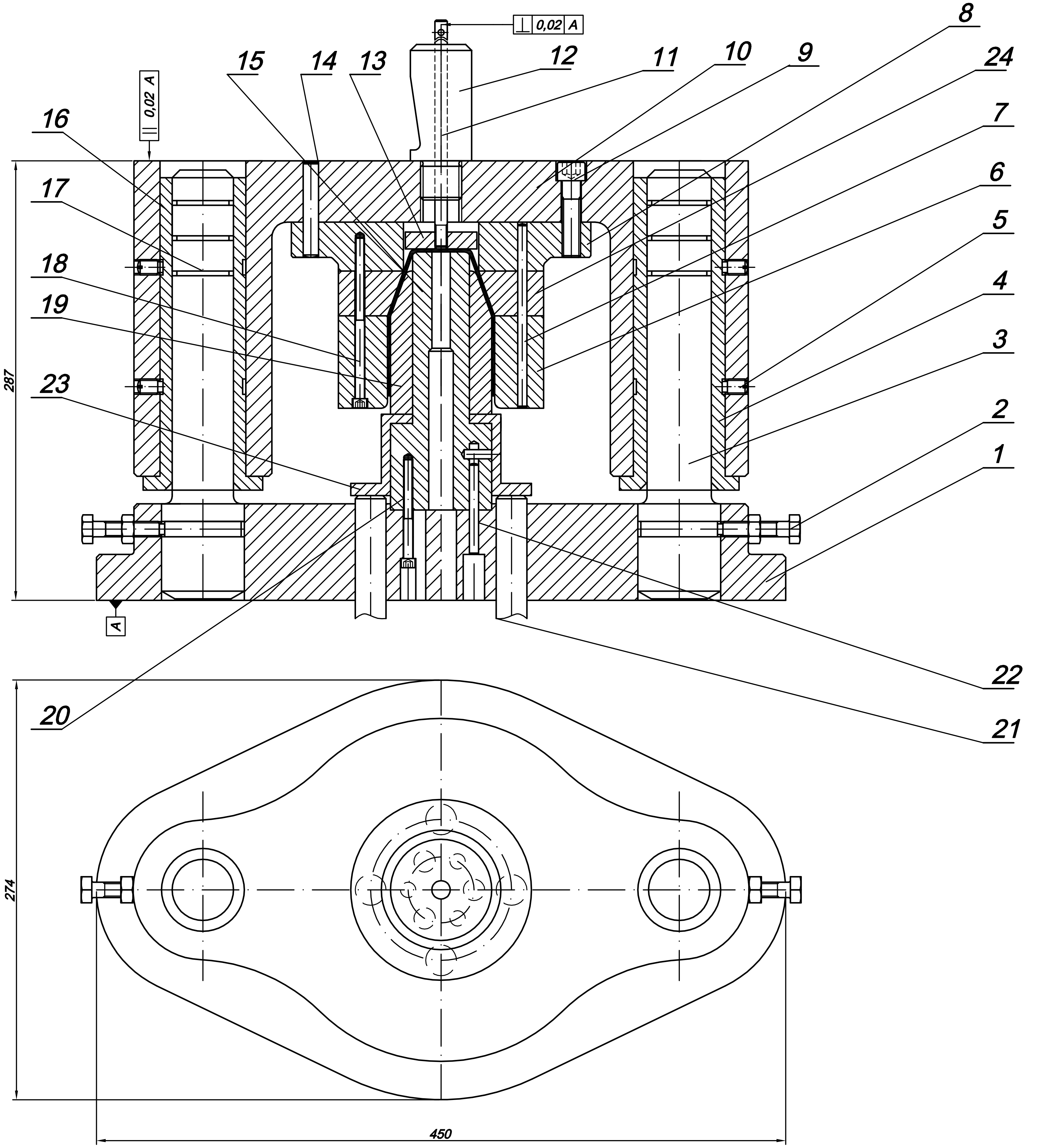
Poz.	Oznaka dijela	Naziv- Oblik i veličina	Standard Oznaka crteža	Materijal- primjedbe	Kom.	Napom.
22		Čivija Ø6	JUS M.C2.201	Č. 0645.	3	
21		Spojnica držača lima		Č. 1220.	4	
20		Vijak M6	JUS M.B1.120	Č. 0545.	3	
19		Držača lima		Č. 1220.	1	
18		Vijak M6	JUS M.B1.120	Č. 0545.	3	
17	I-15	Stubna vođica Ø40	DIN 9833	Č. 1120.	1	
16	I-14	Čaura stubnih vođica Ø40	DIN 9834	Č. 1220.	1	
15		Izvlakač		Č. 4150.	1	
14		Čivija Ø10	JUS M.C2.201	Č. 0645.	5	
13		Ploča izbijača		Č. 0345.	1	
12		Cilindrični rukavac	DIN 9812	Č. 0545.	1	
11		Motka izbijača		Č .1220.	1	
10		Gornji nosač alata		SL. 18	1	
9		Vijak M12	JUS M.B1.120	Č. 0545.	5	
8		Nosač prstena za izvlačenje		Č. 1220.	1	
7		Čivija Ø6	JUS M.C2.201	Č. 0645.	3	
6		Prsten za izvlačanje		Č. 4150.	1	
5		Vijak M10	JUS M.B1.291	Č. 0545.	4	
4	I-12	Čaura stubnih vođica Ø42	DIN 9834	Č. 1220.	1	
3	I-13	Stubna vođica Ø42	DIN 9833	Č. 1120.	1	
2		Vijak za osiguranje M10	JUS M.B1.291.	Č.0545.	2	
1		Donji nosač alata	DIN 9812	SL. 18	1	

Veza sa:	Tolerancija:	Obrada:	Mjerilo: 1 : 2	Masa:
			Sirovina:	

	Datum	Ime	Potpis	Naziv:
Obrad.	9.1.2002.	Dževad	Hadžihafizović	Alat za drugu fazu izvlačenja
Ispitao			Dževad	
Stand.				
Ozna.				

Mašinski fakultet Sarajevo	Oznaka dokumenta:	List br. II 7

St.iz	Izmjena:	Datum:	Ime	Klasifikacija:	Izvorni dokument:	Zamjena za:



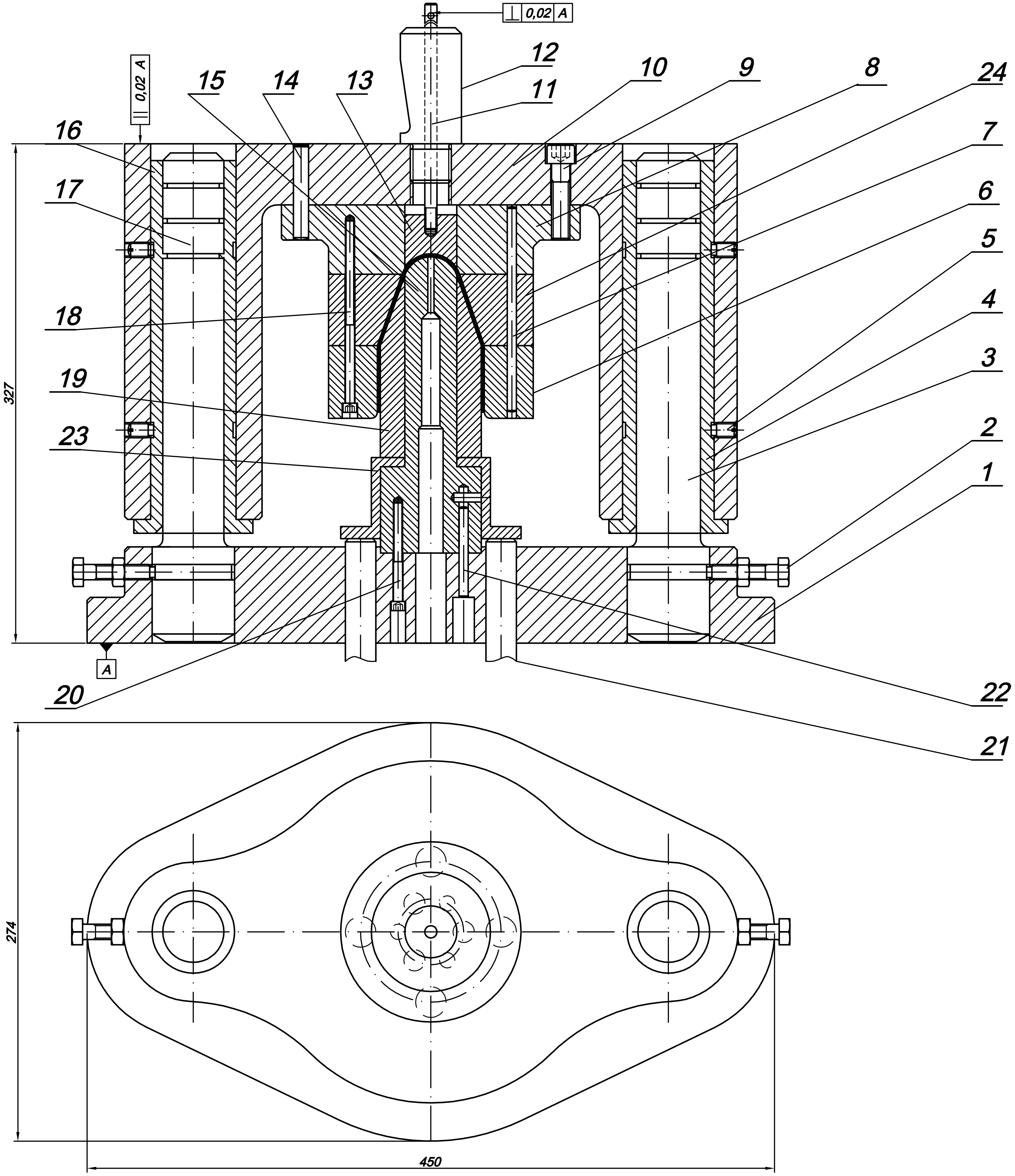
Poz.	Oznaka dijela	Naziv- Oblik i veličina	Standard Oznaka crteža	Materijal- primjedbe	Kom.	Napom.
24		Prsten za konus		Č. 4150.	1	
23		Spojnica		Č. 1220.	1	
22		Čivija Ø6	JUS M.C2.201	Č. 0645.	3	
21		Spojnica držača lima		Č. 1220.	4	
20		Vijak M6	JUS M.B1.120	Č. 0545.	3	
19		Držača lima		Č. 1220.	1	
18		Vijak M6	JUS M.B1.120	Č. 0545.	3	
17	I-15	Stubna vođica Ø40	DIN 9833	Č. 1120.	1	
16	I-14	Čaura stubnih vođica Ø40	DIN 9834	Č. 1220.	1	
15		Izvlakač		Č. 4150.	1	
14		Čivija Ø10	JUS M.C2.201	Č. 0645.	5	
13		Ploča izbijača		Č. 0345.	1	
12		Cilindrični rukavac	DIN 9812	Č. 0545.	1	
11		Motka izbijača		Č .1220.	1	
10	II-3	Gornji nosač alata		SL. 18	1	
9		Vijak M12	JUS M.B1.120.	Č. 0545.	5	
8		Nosač prstena za izvlačenje		Č. 1220.	1	
7		Čivija Ø6	JUS M.C2.201	Č. 0645.	3	
6		Prsten za izvlačanje		Č. 4150.	1	
5		Vijak M10	JUS M.B1.291	Č. 0545.	4	
4	I-12	Čaura stubnih vođica Ø42	DIN 9834	Č. 1220.	1	
3	I-13	Stubna vođica Ø42	DIN 9833	Č. 1120.	1	
2		Vijak za osiguranje M10	JUS M.B1.291.	Č.0545.	2	
1	II-1	Donji nosač alata	DIN 9812	SL. 18	1	

Veza sa:	Tolerancija:	Obrada:	Mjerilo: 1 : 2	Masa:
			Sirovina:	

	Datum	Ime	Potpis	Naziv:
Obrad.	10.1.2002	Dževad	Hadžihafizović	Alat za treću fazu izvlačenja
Ispitao			Dževad	
Stand.				
Ozna.				

Mašinski fakultet Sarajevo	Oznaka dokumenta:	List br. III 7

St.iz	Izmjena:	Datum:	Ime	Klasifikacija:	Izvorni dokument:	Zamjena za:



Poz.	Oznaka dijela	Naziv- Oblik i veličina	Standard Oznaka crteža	Materijal- primjedbe	Kom	Napom.
24		Prsten za konus		Č. 1220.	1	
23		Spojnica		Č. 1220.	1	
22		Čivija Ø6	JUS M.C2.201	Č. 0645.	3	
21		Spojnica držača lima		Č. 1220.	4	
20		Vijak M6	JUS M.B1.291	Č. 0545.	3	
19		Držača lima		Č. 1220.	1	
18		Vijak M6	JUS M.B1.120	Č. 0545.	3	
17		Stubna vođica Ø40	DIN 9833	Č. 1120.	1	
16		Čaura stubnih vođica Ø40	DIN 9834	Č. 1220.	1	
15		Izvlakač		Č. 4150.	1	
14		Čivija Ø10	JUS M.C2.201	Č. 0645.	5	
13		Ploča izbijača		Č. 0345.	1	
12		Cilindrični rukavac	DIN 9812	Č. 0545.	1	
11		Motka izbijača		Č .1220.	1	
10		Gornji nosač alata		SL. 18	1	
9		Vijak M12	JUS M.B1.120	Č. 0545.	5	
8		Nosač prstena za izvlačenje		Č. 1220.	1	
7		Čivija Ø6	JUS M.C2.201	Č. 0645.	3	
6		Prsten za izvlačanje		Č. 4150.	1	
5		Vijak M10	JUS M.B1.291	Č. 0545.	4	
4		Čaura stubnih vođica Ø42	DIN 9834	Č. 1220.	1	
3		Stubna vođica Ø42	DIN 9833	Č. 1120.	1	
2		Vijak za osiguranje M10	JUS M.B1.291.	Č.0545.	2	
1	II-1	Donji nosač alata	DIN 9812	SL. 18	1	

Veza sa:	Tolerancija:	Obrada:	Mjerilo: 1 : 2	Masa:
			Sirovina:	

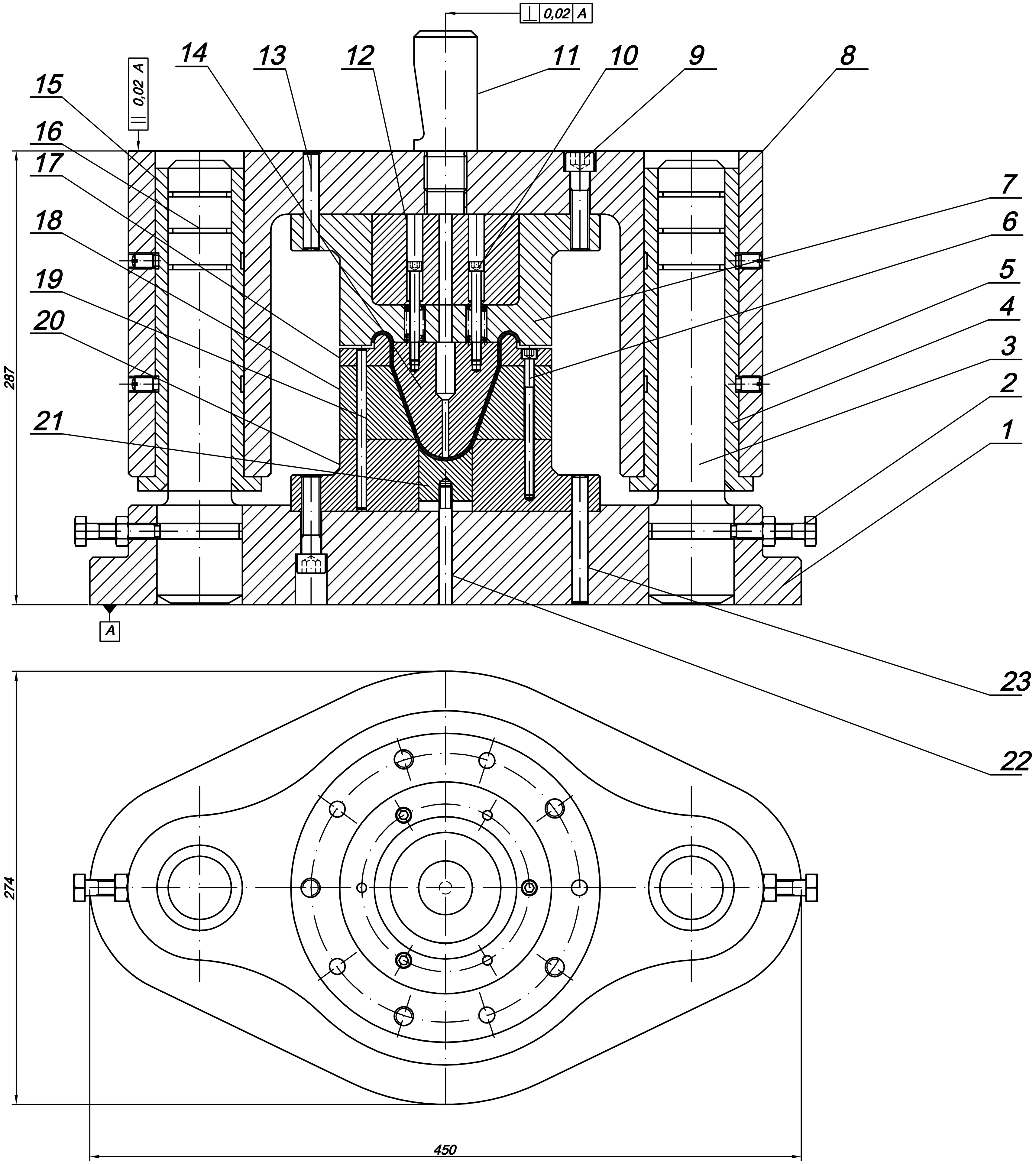
	Datum	Ime	Potpis	Naziv:
Obrad.	10.1.2002	Dževad	Hadžihafizović	Alat za četvrtu fazu izvlačenja
Ispitao			Dževad	
Stand.				
Ozna.				

Mašinski fakultet Sarajevo

Oznaka dokumenta:

List br. IV 12

St.iz.	Izmjena:	Datum:	Ime	Klasifikacija:	Izvorni dokument:	Zamjena za:



Poz.	Oznaka dijela	Naziv- Oblik i veličina	Standard Oznaka crteža	Materijal- primjedbe	Kom	Napom.
23		Čivija Ø10	JUS M.C2.201	Č. 0645.	5	
22		Motka izbijača		Č. 0345.	1	
21	IV-7	Ploča izbijača		Č. 0345.	1	
20	IV-4	Nosač prstena		Č. 1220.	1	
19		Čivija Ø6	JUS M.C2.201	Č. 0645.	3	
18	IV-2	Prsten za konus		Č. 1220.	1	
17		Kalup za savijanje		Č. 4150.	1	
16	I-15	Stubna vodica Ø40	DIN 9833	Č. 1120.	1	
15	I-14	Čaura stubnih vodica Ø40	DIN 9834	Č. 1220.	1	
14		Držač lima		Č. 1220.	1	
13		Čivija Ø10	JUS M.C2.201	Č. 0645.	5	
12		Nosač vijaka		Č. 0545.	1	
11		Cilindrični rukavac	DIN 9812	Č. 0545.	1	
10		Vijak M12	JUS M.B1.120	Č. 0545.	4	
9		Vijak M12	JUS M.B1.120	Č. 0545.	10	
8		Gornji nosač alata		SL. 18	1	
7		Kalup za obrubljivanje		Č. 4150.	1	
6		Vijak M6	JUS M.B1.120	Č. 0545.	3	
5		Vijak M10	JUS M.B1.291	Č. 0545.	4	
4	I-12	Čaura stubnih vodica Ø42	DIN 9834	Č. 1220.	1	
3	I-13	Stubna vodica Ø42	DIN 9833	Č. 1120.	1	
2		Vijak za osiguranje M10	JUS M.B1.291.	Č.0545.	2	
1		Donji nosač alata	DIN 9812	SL. 18	1	

Veza sa:	Tolerancija:	Obrada:	Mjerilo: 1 : 2	Masa:
			Sirovina:	

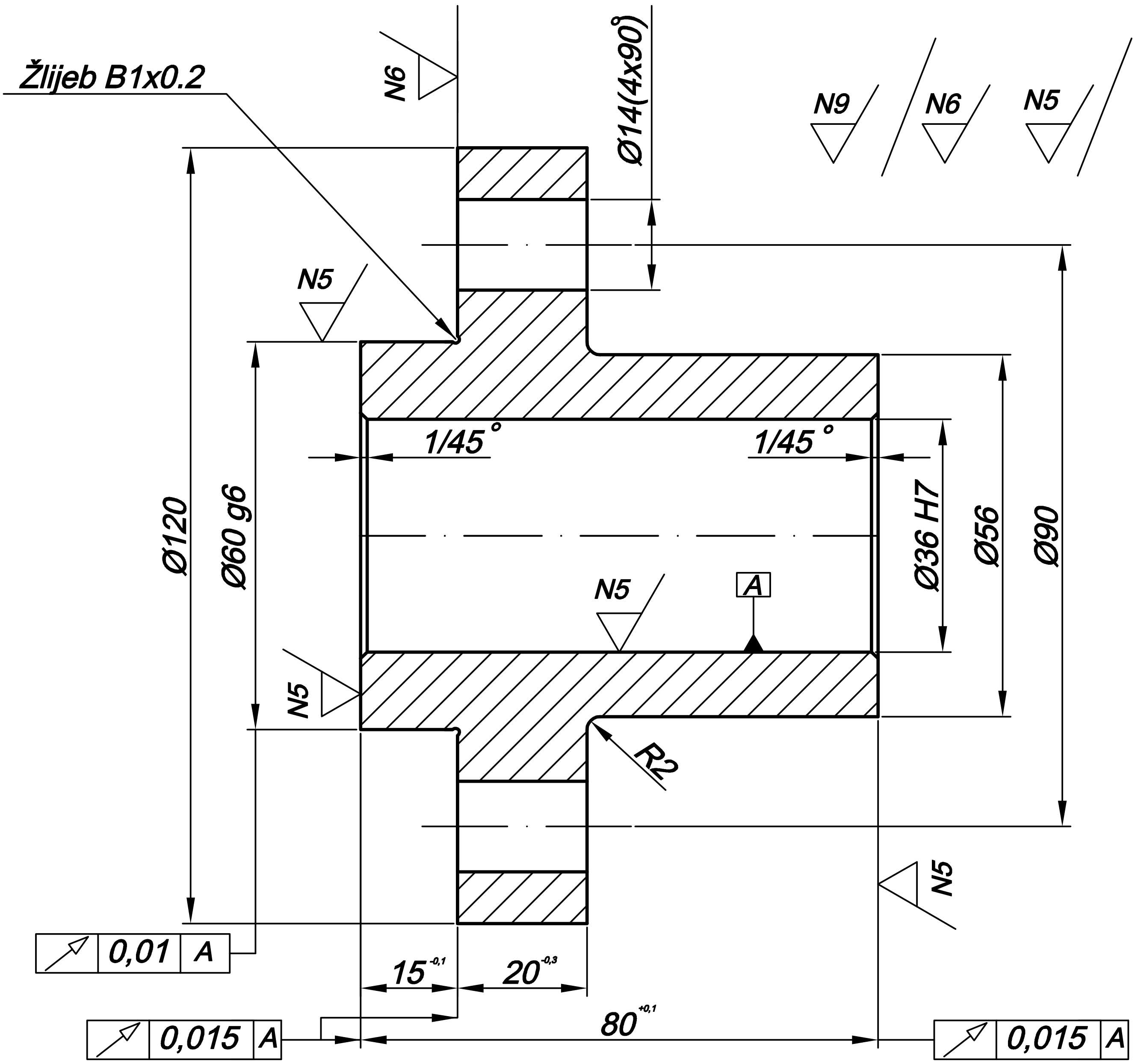
	Datum	Ime	Potpis	Naziv:
Obrad.	13.1.2002	Dževad	Hadžihalilović Dževad	Alat za obrubljivanje
Ispitao				
Stand.				
Ozna.				

Mašinski fakultet Sarajevo

Oznaka dokumenta:

List br. V 5

St.iz.	Izmjena:	Datum:	Ime	Klasifikacija:	Izvorni dokument:	Zamjena za:



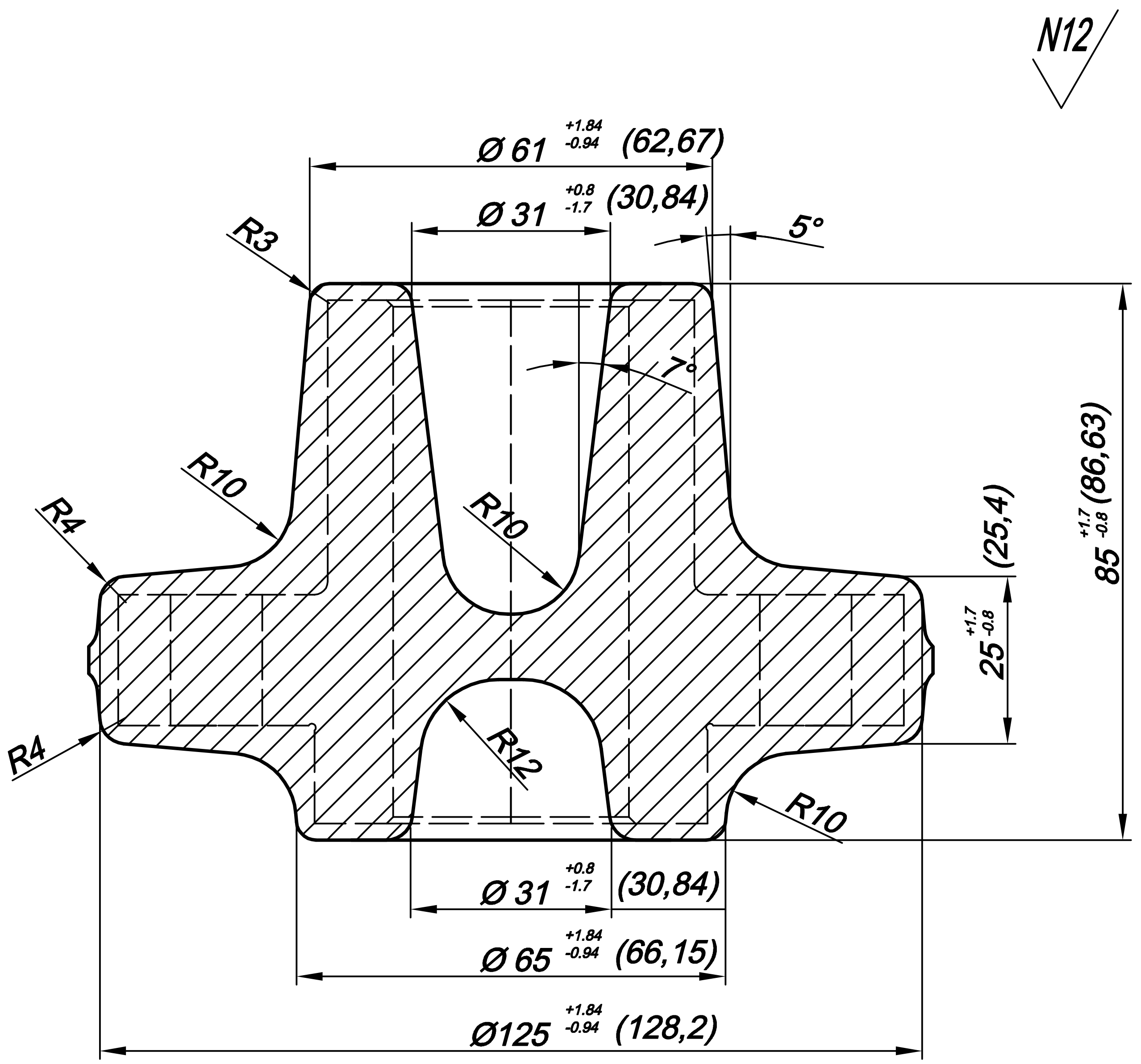
Ø36 H7	0,025	Ø60 g6	-0,010
	0		-0,029

Napomena : oštre ivice oboriti na 0,5/45°
tolerancije ne tolerisanih mjera po DIN 7168/79

		Prirubnica		Č. 4320.	75000	
Poz.	Oznaka dijela	Naziv- Oblik i veli č ina	Standard Oznaka crte ž a	Materijal- primjedbe	Kom.	Na.

Veza sa:	Tolerancija:	Obrada:	Mjerilo: 1 : 1	Masa:
			Sirovina:	

					Datum	Ime	Potpis	Naziv:
				Obrad.				Prirubnica
				Ispitao				
				Stand.				
				Ozna.				
				Mašinski fakultet Sarajevo			Oznaka dokumenta:	List br.
St.iz	Izmjena:	Datum:	Ime	Klasifikacija:			Izvorni dokument:	Zamjena za:



Veza sa:	Tolerancija:	Obrada:	Mjerilo: 1 : 1	Masa:
			Sirovina: Č.4320.	

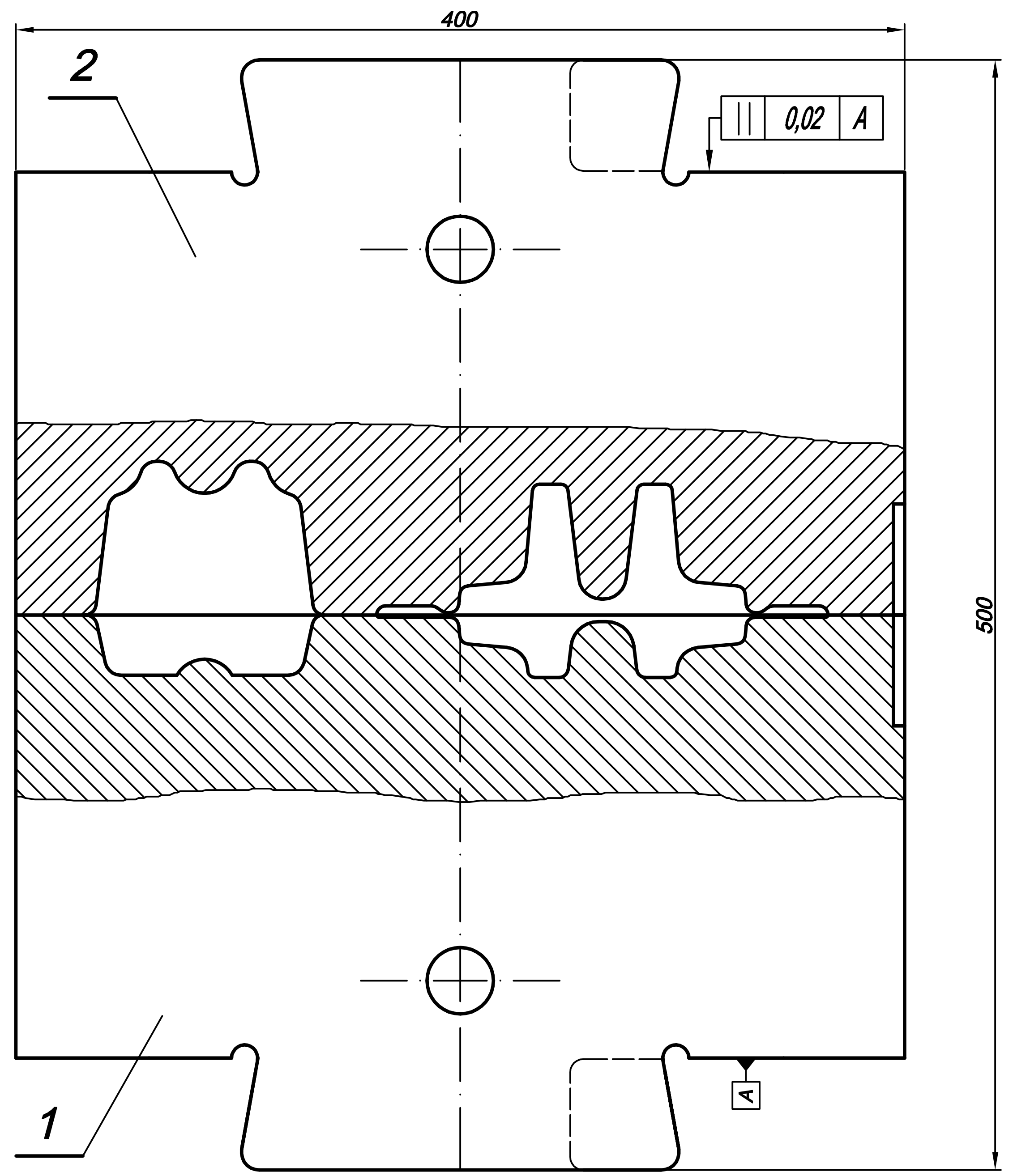
	Datum	Ime	Potpis	Naziv:
Obrad.	15.1.2002	Dževad	Hadžihafizović	Otkovka
Ispitao			Dževad	
Stand.				
Ozna.				

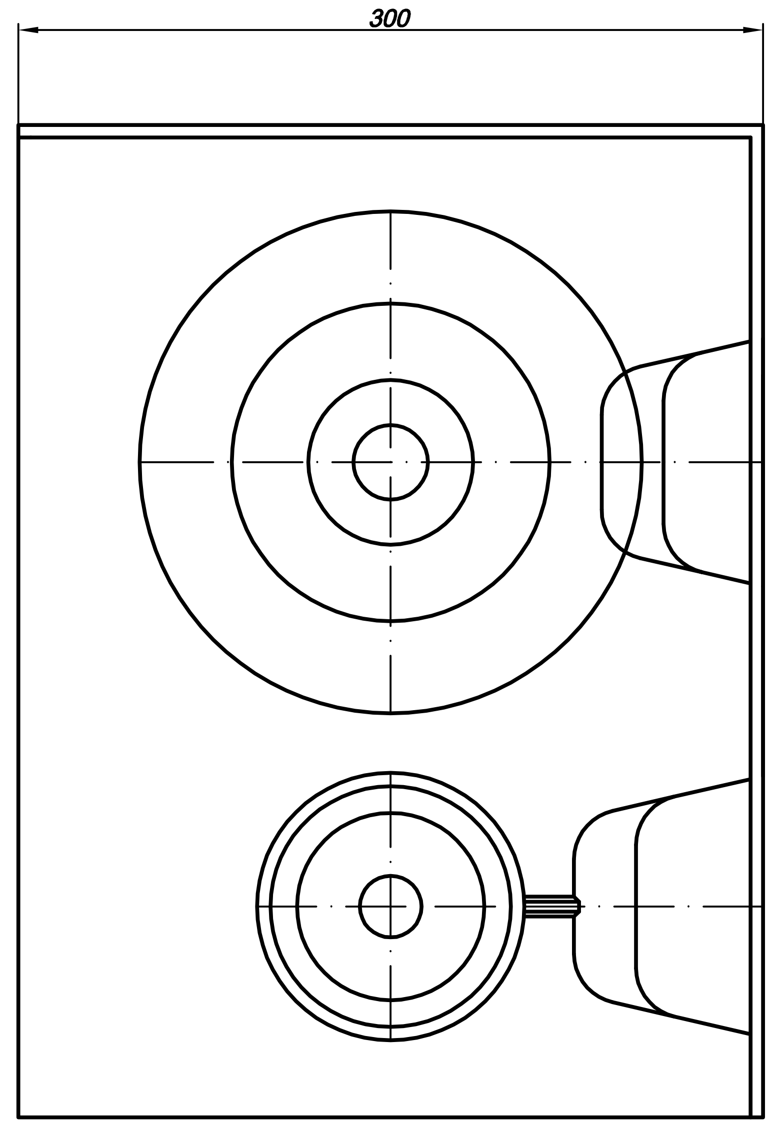
Mašinski fakultet Sarajevo

Oznaka dokumenta:

List br.

St.iz	Izmjena:	Datum:	Ime	Klasifikacija:	Izvorni dokument:	Zamjena za:





Poz.	Oznaka dijela	Naziv- Oblik i veli č ina	Standard Oznaka crte ž a	Materijal- primjedbe	Kom.	Napom.
2		Gornji ukovanj		Č. 6451.	1	
1		Donji ukovanj		Č. 6451.	1	

Veza sa: | Tolerancija: | Obrada: | Mjerilo: 1 : 2 | Masa:

Sirovina:

	Datum	Ime	Potpis
Obrad.	14.1.2002	Dževad	Hadžihafizović Dževad
Ispitao			
Stand.			
Ozna.			

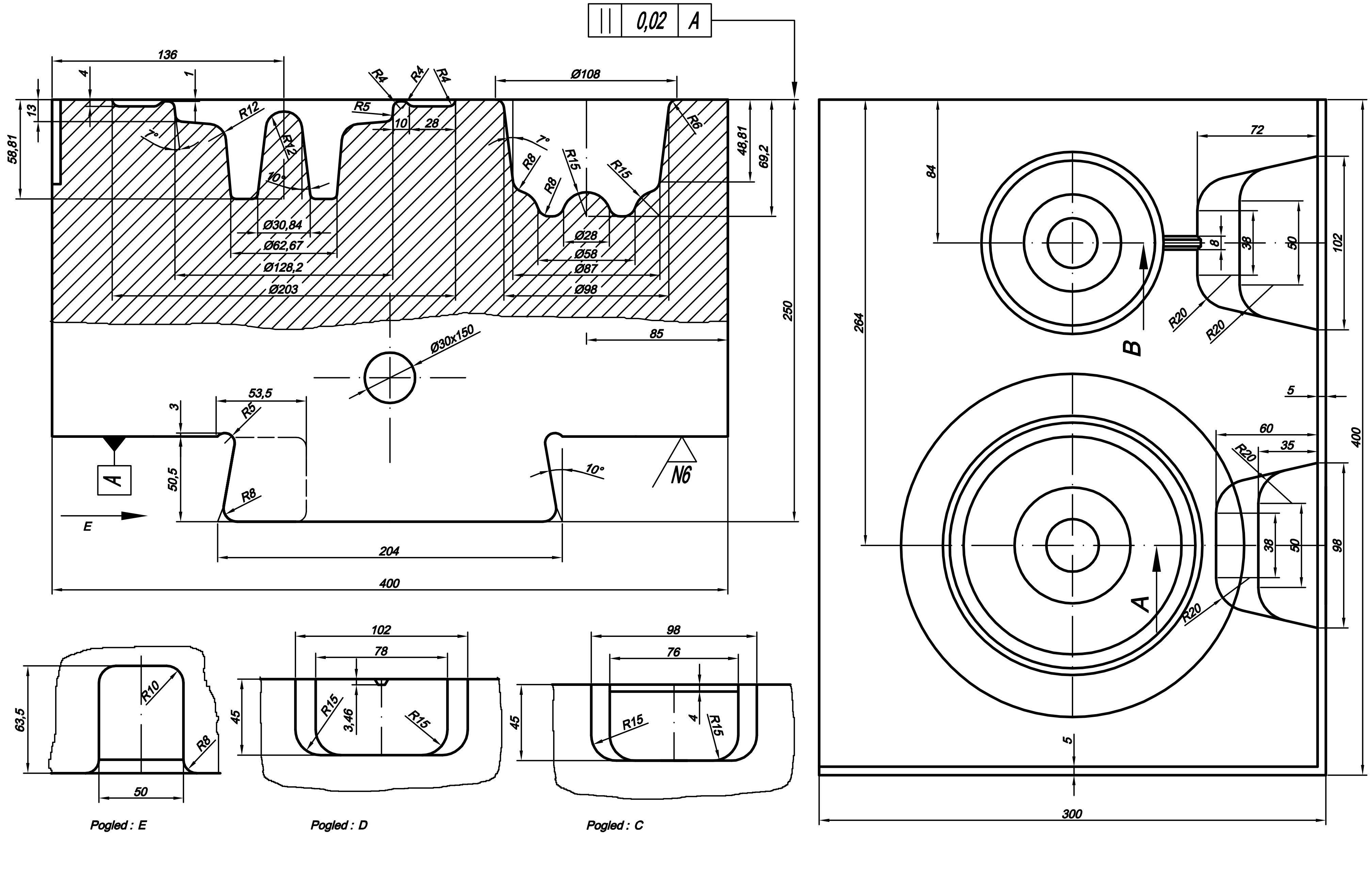
Naziv: Kovački ukovanj

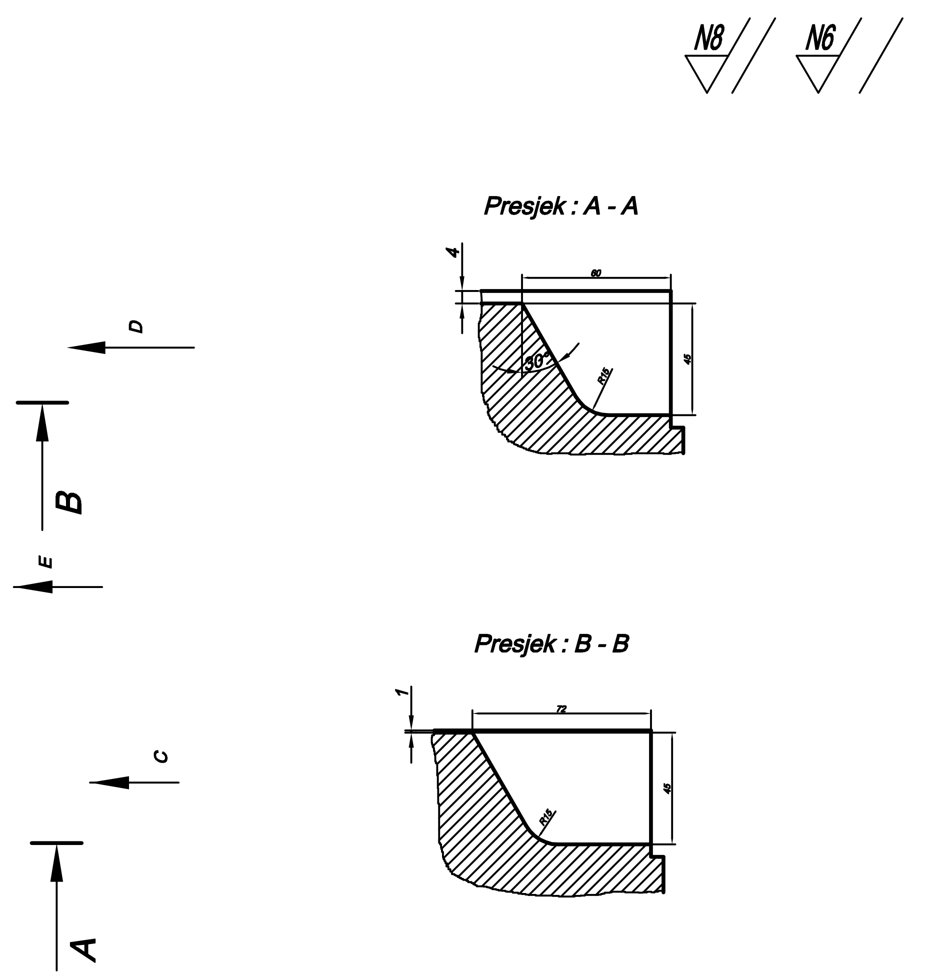
Mašinski fakultet Sarajevo

Oznaka dokumenta:

List br. 1 / 2

St.iz | Izmjena: | Datum: | Ime | Klasifikacija: | Izvorni dokument: | Zamjena za:





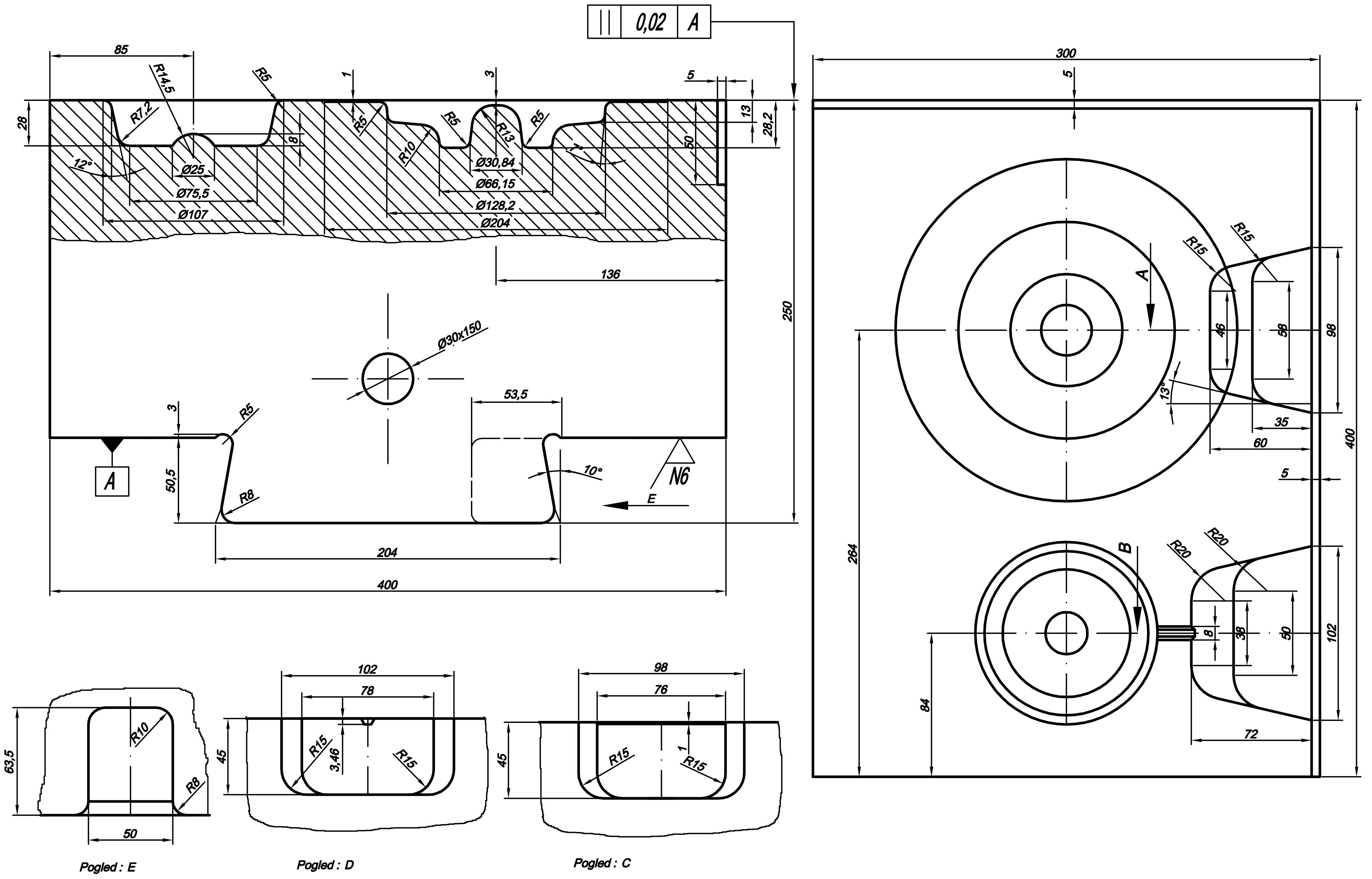
2		Gornji ukovanj		Č. 6451.	1	
Poz.	Oznaka dijela	Naziv- Oblik i veli č ina	Standard Oznaka crte ž a	Materijal- primjedbe	Kom.	Napom.

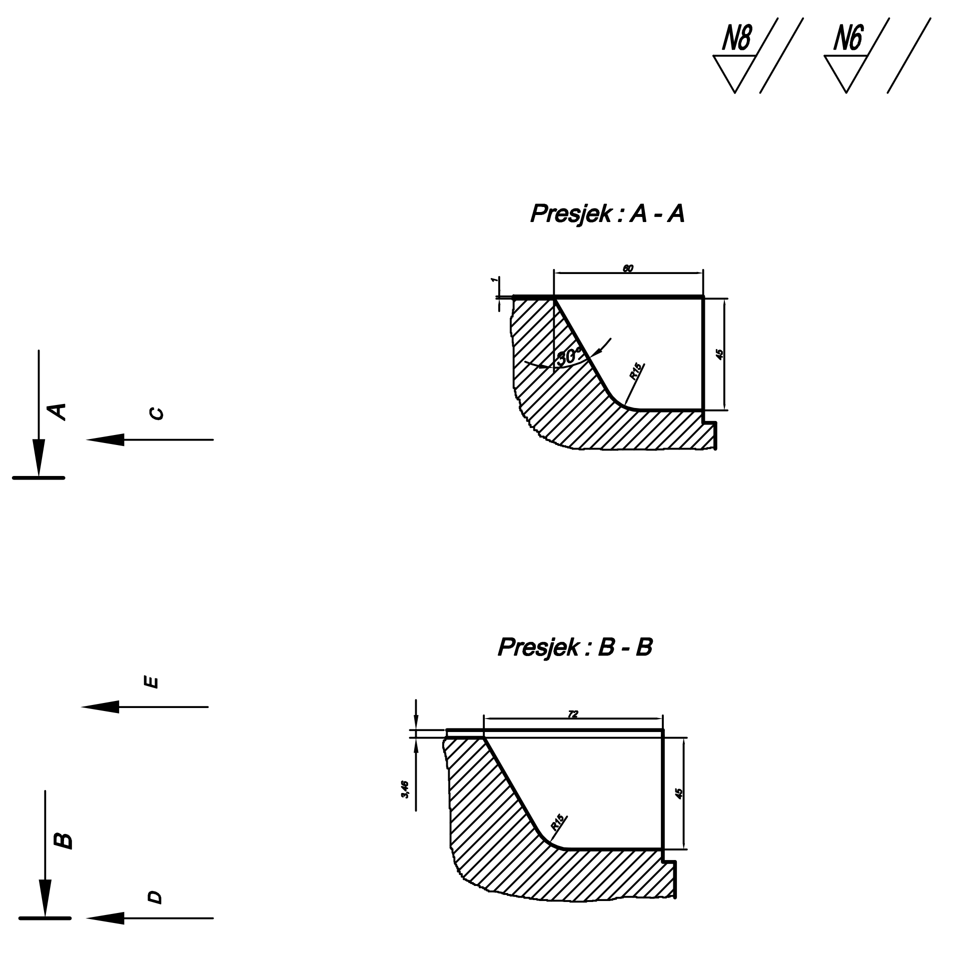
Veza sa:	Tolerancija:	Obrada:	Mjerilo: 1 : 2	Masa:
			Sirovina:	

	Datum	Ime	Potpis	Naziv:
Obrad.	14.1.2002	D žerad	Hadzihafizovic	Kovački ukovanj
Ispitao			Dzevad	
Stand.				
Ozna.				

Mašinski fakultet Sarajevo	Oznaka dokumenta: K-1	List br. 1 / 2

St.iz	Izmjena:	Datum:	Ime	Klasifikacija:	Izvorni dokument:	Zamjena za:





1		Donji ukovanj		Č. 6451.	1	
Poz.	Oznaka dijela	Naziv- Oblik i veli č ina	Standard Oznaka crte ž a	Materijal- primjedbe	Kom.	Napom.

Veza sa:	Tolerancija:	Obrada:	Mjerilo: 1 : 2	Masa:
			Sirovina:	

	Datum	Ime	Potpis	Naziv:
Obrad.	14.1.2002	D žev ad	Hadzihafizovic	Kovački ukovanj
Ispitao			Dzevad	
Stand.				
Ozna.				

St.iz	Izmjena:	Datum:	Ime	Klasifikacija: Mašinski fakultet Sarajevo	Oznaka dokumenta: K-1	List br. 1 / 3
					Izvorni dokument:	Zamjena za: